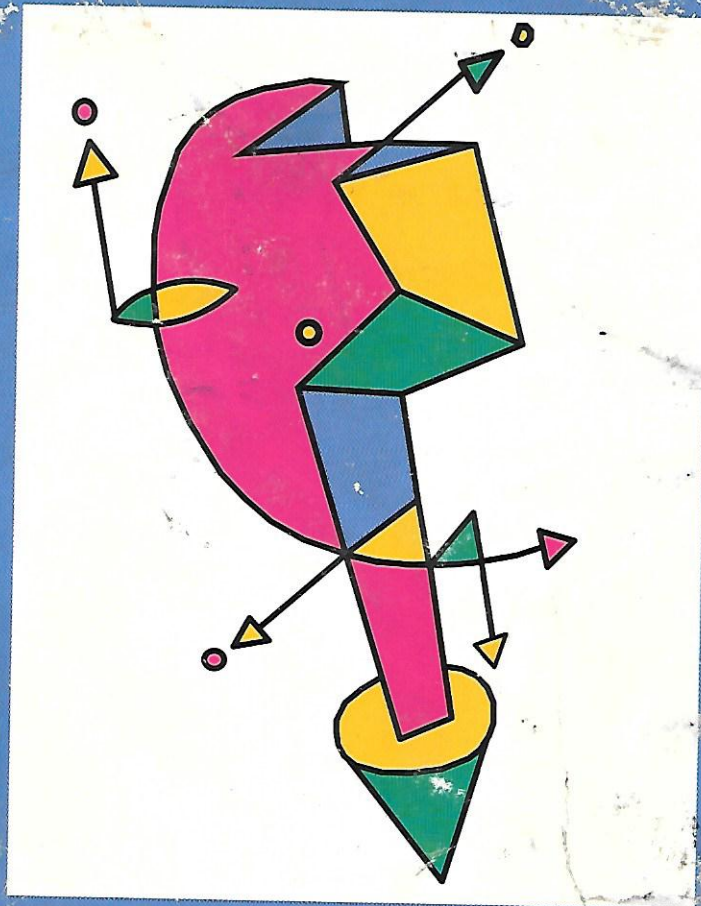


Carlos Gutiérrez Aranzeta



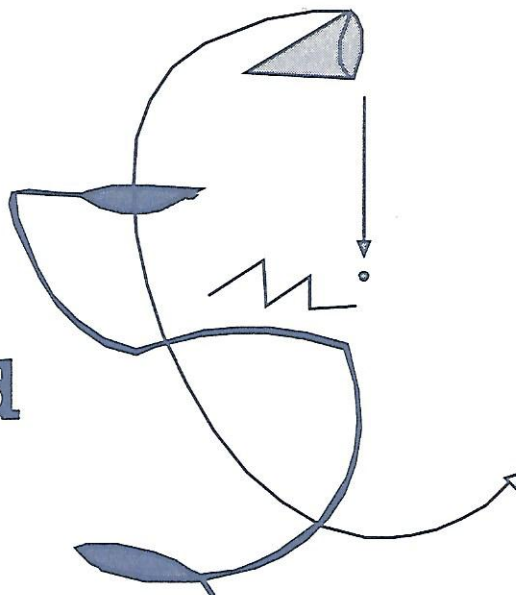
Mecánica y calor

 **LIMUSA**
NORIEGA EDITORES

 **conalep**

 **SEP**

Unidad



Termodinámica

Objetivo

Introducción

Termometría

La temperatura y su medida

Cómo medir la temperatura

Ley cero de la termodinámica

Escalas termométricas

Termómetro de gas a volumen constante

Escala Kelvin

Termómetros industriales

Termómetro de tira bimetálica o bimetálico

Termopar

Dilatación térmica

Leyes de los gases ideales

Ley de Charles y Gay Lussac o simplemente de Gay Lussac

Ley de Charles

Ley general de los gases ideales

Calorimetría

Calor

OBJETIVO

Identificar los conceptos, principios y leyes fundamentales de la termodinámica que permitan comprender algunos fenómenos relacionados con la temperatura, el calor, los procesos termodinámicos y la conservación de la energía, así como reconocer la importancia de esta parte de la Física en el área tecnológica y en la vida cotidiana.



INTRODUCCIÓN

Ante los éxitos logrados por la mecánica en la descripción de un gran número de fenómenos físicos, muchos científicos creyeron que esta rama de la física era suficiente para hacer la descripción de cualquier fenómeno físico.

Sin embargo, otros científicos se percataron que había fenómenos naturales que no se podían explicar en términos puramente mecánicos. Por ejemplo, se podía estudiar la condición de equilibrio de un cubo de hielo recién sacado del refrigerador y colocado en la superficie horizontal de la mesa. Pero no se podía explicar el por qué el cubito se fundía (se convertía en agua). Asimismo, tampoco se entendía el por qué una pieza metálica se calentaba al ser golpeada varias veces con un martillo.

Lo anterior hace ver que la mecánica no lo es todo y que no obstante sus indiscutibles éxitos, sólo puede dar una descripción parcial e incompleta de fenómenos como los descritos en el párrafo anterior. La búsqueda de una explicación para dichos fenómenos y otros semejantes condujo a los científicos al estudio de los llamados fenómenos térmicos y a la introducción de una nueva rama de la física, llamada **termodinámica**.

En esta unidad iniciaremos el estudio de la termodinámica, la cual se ocupa de los conceptos de temperatura y calor. Asimismo, nos daremos cuenta que esta rama de la física es útil en la explicación de muchas propiedades de la materia y de muchos procesos que ocurren en la naturaleza. A lo largo de la unidad presentamos las leyes de la termodinámica y de como éstas permiten explicar el funcionamiento de las máquinas térmicas.

TERMOMETRÍA

La temperatura y su medida

Una parte importante de la información que recibimos del exterior la obtenemos a través del tacto. Nuestro sentido del tacto nos da una idea de la temperatura de los cuerpos o del ambiente dentro de cierto rango. Sin embargo, el cuerpo humano no está capacitado para detectar con exactitud cuál es la temperatura de un cuerpo. Por ejemplo, no es posible notar la diferencia entre agua a 60°C y agua a 63°C en otro recipiente.

Por otra parte, la diferencia de valores de conductividad térmica en los cuerpos provoca, entre otras cosas, confusión en la apreciación de temperaturas al tacto. Así, por ejemplo,

debido a la mejor conductividad de los metales, una pieza de acero parece más fría al tacto que un trozo de madera situado en el mismo lugar, y por tanto, a igual temperatura.

Tanto la madera como el acero pueden estar a la misma temperatura; sin embargo, el acero es mejor conductor del calor. Si al tocarlo nuestra mano está a mayor temperatura, el calor fluye de la mano al acero más rápidamente que de ésta a la madera, dándonos la sensación de que el acero está más frío (figura 5.1.).

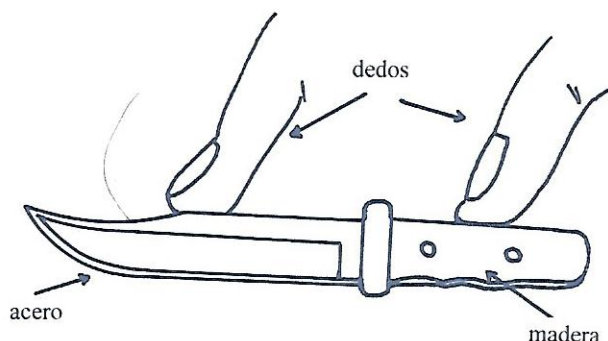


Figura 5.1. Al tacto el acero parece más frío que la madera, a pesar de que el acero y la madera tengan la misma temperatura.

El sentido del tacto no es adecuado para apreciar la temperatura de un objeto porque nos podemos quemar. Por ejemplo, el cuerpo humano se quema al tratar de apreciar la temperatura del agua hirviendo o del aceite caliente.

En virtud de que la experiencia nos enseña que la temperatura se relaciona con lo caliente o lo frío que está un objeto, es que definimos a la **temperatura** como una medida o indicación relativa de calor o frío. En la actualidad se sabe que la *temperatura de un objeto está directamente relacionada con la energía cinética promedio de los átomos y las moléculas que componen dicho objeto* (figura 5.2.).

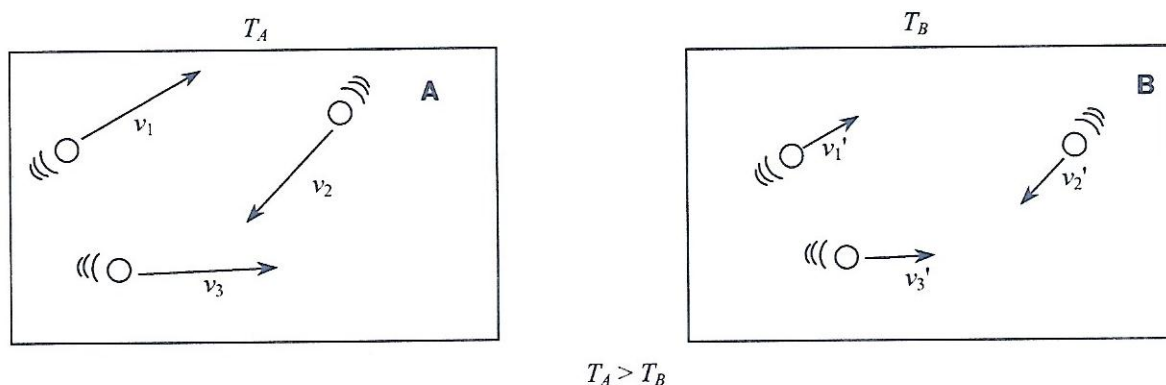


Figura 5.2. El cuerpo A tiene mayor temperatura que el cuerpo B al tener sus moléculas una mayor velocidad y por tanto mayor energía cinética.

La temperatura de un objeto aumenta cuando se incrementa la energía cinética promedio de las moléculas que lo componen; y disminuye cuando dicho promedio también baja.

El sentido del tacto nos permite apreciar la temperatura, pero desafortunadamente esta apreciación no es precisa ni confiable, es subjetiva; es decir, depende de cada individuo.

Ante esta situación, hombres como Galileo y Fahrenheit construyeron dispositivos para medir la temperatura. Como sabemos, éstos dispositivos reciben el nombre de **termómetros**. La rama de la ciencia que estudia la medición de la temperatura recibe el nombre de **termometría**.

Existe una gran variedad de termómetros, pero con los que estamos más familiarizados son el termómetro clínico y el termómetro de laboratorio que se muestran en la figura 5.3. Éstos están constituidos por un dispositivo (bulbo) prolongado por un tubo capilar de vidrio que contiene un líquido. Este líquido puede ser mercurio, alcohol coloreado o queroseno. Su diseño se basa en la dilatación térmica de los líquidos.

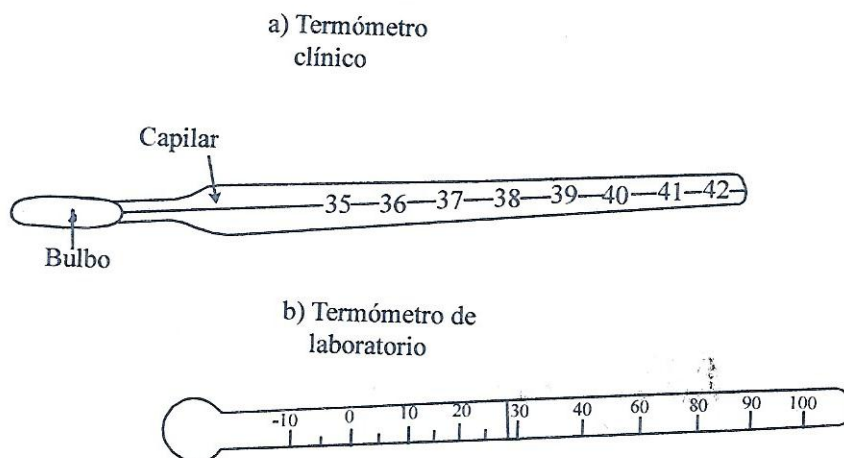


Figura 5.3. a) Termómetro clínico. b) Termómetro de laboratorio.

Los termómetros presentan una graduación generalmente en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Esta graduación puede ser diferente de un termómetro a otro. Por ejemplo, los termómetros que se emplean para medir la temperatura de los seres humanos están graduados de los 35°C a los 42°C ; los que se emplean en los laboratorios pueden estar graduados de -10°C hasta 530°C . Los números situados arriba del cero se leen, 5, 10, 15..., grados Celsius (+5, +10, +15..., grados Celsius) los números situados abajo del cero se leen menos cinco (-5), menos diez (-10), grados Celsius o bien 5 o 10 grados bajo cero. Es conveniente señalar que existen otros tipos de termómetros.

Cómo medir la temperatura

Para medir la temperatura del agua (o de cualquier otro cuerpo o sustancia), por ejemplo, colocamos el bulbo del termómetro en contacto con el agua caliente (o fría, según se trate),

■ ■ ■ ■ ■ ■

cuya temperatura deseamos conocer. El líquido contenido en el bulbo se calienta y empieza a llenar progresivamente el tubo capilar del termómetro, es decir, se dilata, o sea, su volumen aumenta. El líquido se inmoviliza cuando se encuentra a la misma temperatura que el agua. Finalmente, leemos el número que coincide con la altura máxima del mercurio o del líquido empleado en la construcción del mercurio. El termómetro indica la temperatura del cuerpo que está en contacto con él.

Las precauciones que se deben tener para medir la temperatura son las siguientes:

- El bulbo debe estar sumergido enteramente en la sustancia cuya temperatura se desea conocer.
- Es necesario esperar cierto tiempo hasta que la columna de mercurio se estabilice y pueda tomarse la lectura de la temperatura.
- Leer la temperatura sin sacar el termómetro de la sustancia cuya temperatura se va a medir.

Ley cero de la Termodinámica

La construcción de los termómetros está basada en la Ley cero de la Termodinámica, la cual establece que *dos cuerpos aislados entre sí, pero en equilibrio térmico con un tercer cuerpo están en equilibrio térmico entre sí.*

El **equilibrio térmico** se refiere al hecho de que dos o más cuerpos en contacto térmico tienen la misma temperatura. Si por el contrario al poner en contacto dos cuerpos, éstos no tienen la misma temperatura inicial, entonces decimos que no están en equilibrio térmico. Pero, si estos cuerpos están separados por una superficie que permite que un cuerpo descienda su temperatura y la del otro cuerpo aumente hasta que se obtenga una temperatura común e igual para los dos cuerpos, diremos que se ha alcanzado el equilibrio térmico.

Se dice que dos cuerpos están en **contacto térmico** cuando están separados por una **pared o superficie diatérmica**, o sea por una superficie que es buena conductora del calor.

Por ejemplo, si aproximamos una olla metálica que contiene una mezcla de agua y hielo a una parrilla eléctrica encendida, observamos que el hielo se funde y el agua se calienta. La pared de la olla es una pared diatérmica.

En cambio, si la superficie de separación está formada por una sustancia que es mala conductora, el equilibrio térmico entre los dos cuerpos no se logra y la superficie se llama **adiabática**. Las paredes del vaso Dewar son ejemplos de superficies o paredes adiabáticas. Estas no permiten el paso de calor.

Escalas termométricas

Para asociar la temperatura a un cuerpo, se recurre primeramente a una propiedad física mensurable del cuerpo que cambie con la temperatura. Existen una gran cantidad de pro-

propiedades que cambian al variar la temperatura, estas propiedades reciben el nombre de **propiedades termométricas**.

Como los primeros termómetros se basaban en la dilatación de un fluido en un tubo, las primeras escalas termométricas se apoyaron en la medición de la longitud de la columna de agua, de alcohol o mercurio en el termómetro.

Una vez determinada la propiedad termométrica los científicos de la época identificaron, para establecer la escala termométrica, que los cambios de estado son procesos que ocurren sin cambios de temperatura, razón por la cual se utilizaron como puntos fijos en la escala.

La elección es arbitraria pero las temperaturas de referencia o puntos fijos más empleados son:

- El **punto fijo inferior** (punto de congelación) es la temperatura a la cual coexisten agua y hielo en equilibrio térmico bajo una presión de 1 atm.
- El **punto fijo superior** (punto de ebullición del agua) es la temperatura en la que coexisten agua y vapor de agua en equilibrio térmico bajo una presión de 1 atm.

Las escalas ordinarias que generalmente se usan son: la **Celsius** o **centígrada** que asigna en forma arbitraria el número cero al punto bajo inferior (fusión de hielo) y el número 100 al punto fijo superior y cuyo intervalo entre dichos puntos es dividido en 100 intervalos iguales (grados Celsius); la otra escala es la **Fahrenheit** que se emplea en los Estados Unidos. En esta, el punto de fusión del hielo es 32°F y el punto de ebullición del agua es 212°F , de manera que en dicho intervalo hay 180 subdivisiones (grados Fahrenheit).

Si medimos la temperatura de un líquido o cualquier objeto, con un termómetro Celsius y uno Fahrenheit, obtendremos lecturas diferentes pero, el mercurio alcanza la misma altura en ambos termómetros (figura 5.4.).

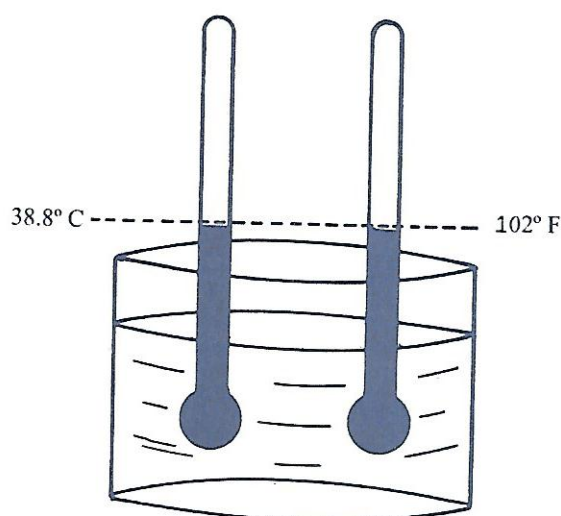


Figura 5.4. Los dos termómetros marcan “temperaturas diferentes”, debido a que las escalas son diferentes.

Una escala puede transformarse en la otra, mediante una sencilla fórmula que se deduce de la definición de ambos termómetros (figura 5.5.).

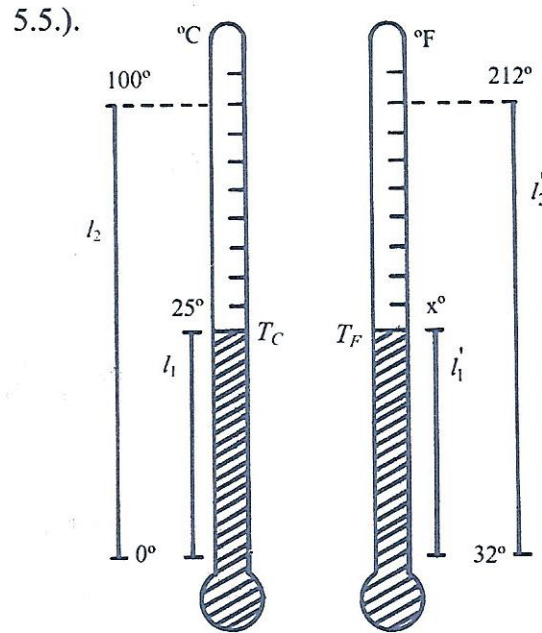


Figura 5.5. El nivel de mercurio en ambos termómetros alcanza la misma altura.

Como podemos ver en la figura anterior, la altura de las columnas de mercurio es la misma en ambos termómetros, ($l_1 = l'_1$), por lo que se puede establecer la siguiente proporción:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l'_1}{l'_2}$$

Expresando estas longitudes en función de las características de cada termómetro.

$$\frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{T_c}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

despejando T_c :

$$T_c = \frac{100}{180} (T_F - 32)$$

$$T_c = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

Esta ecuación permite convertir los grados Fahrenheit en grados Celsius.

Despejando ahora la temperatura en grados Celsius, obtenemos la fórmula para convertir de Celsius a Fahrenheit.

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

Es importante señalar que las temperaturas expresadas en Celsius o Fahrenheit se indican dando el valor numérico seguido del símbolo °C (Celsius) o °F (Fahrenheit) respectivamente.

Ejemplo:

Una persona tiene fiebre, ya que su temperatura es de 40° C. Expresa esta temperatura en °F

Solución:

Datos

$$T_C = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_F = ?$$

Fórmula

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

Sustitución

$$T_F = \frac{9(40)}{5} + 32$$

Resultado

$$T_F = 104^{\circ}\text{F}$$

Termómetro de gas a volumen constante

Se basa en la variación de la presión del gas con respecto a la temperatura cuando se mantiene el volumen constante. Este tipo de termómetro se muestra en la figura 5.6. La temperatura del gas debe ser lo bastante alta y su presión lo suficientemente baja, para que la densidad del gas sea muy pequeña; esto es, el gas no debe encontrarse en condiciones cercanas a aquellas en las que se condensa para formar un líquido.

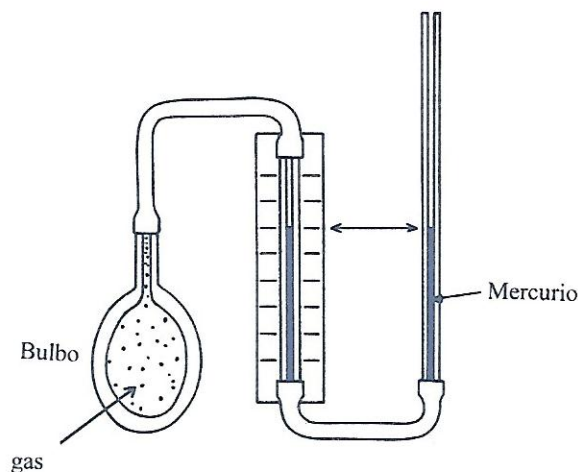


Figura 5.6. Termómetro de gas a volumen constante.

Se calibra de la misma manera que se hace con los termómetros de líquido en vidrio. Manteniendo el volumen constante, se registran las presiones correspondientes al punto de congelación y al punto de ebullición del agua. Entonces suponiendo que la presión varía en forma lineal con la temperatura, marcamos las presiones correspondientes a 0 y 100°C en papel para gráficas, y dibujamos una línea recta por los dos puntos, para establecer las temperaturas entre 0 y 100° C. Por extrapolación, extendemos la gráfica de las temperaturas más allá de este margen, como se indica en la figura 5.7.

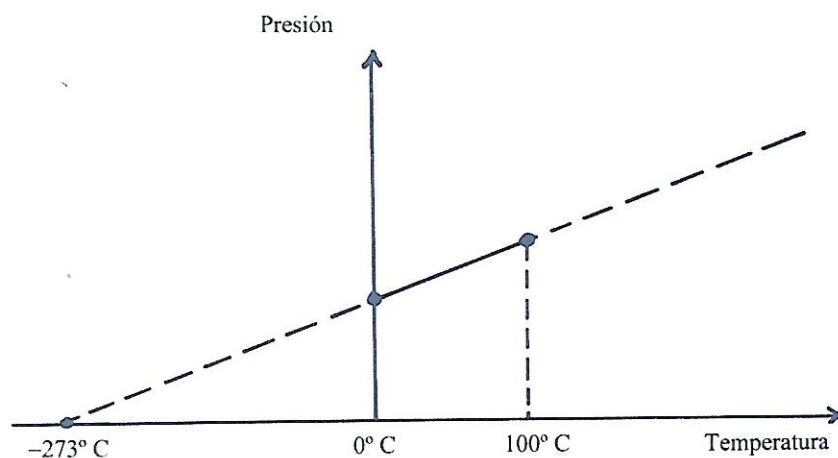


Figura 5.7. Gráfica de presión-temperatura para un termómetro de gas a volumen constante.

Es importante señalar que dos termómetros de gas a volumen constante con diferentes gases sus escalas concuerdan en todos sus puntos. Cuando se extrapola la línea recta de la figura 5.7., a bajas temperaturas, encontramos que la presión es cero cuando la temperatura Celsius es -273.15°C

Esta temperatura estipula un *posible* límite inferior de temperatura. Es por ello conveniente introducir una nueva escala de temperatura con el cero en ese punto.

Escala Kelvin

En la escala centígrada se llama *cero* a la temperatura de una mezcla de hielo y agua, simplemente por comodidad u ocurrencia de Celsius; pero no indica que sea la menor temperatura posible. Sin embargo, la **escala absoluta**, o **termodinámica** o de **Kelvin** ha sido diseñada de manera que el cero Kelvin corresponda a la menor temperatura posible. A este límite inferior en la temperatura que un cuerpo puede alcanzar se le llama **cero absoluto**. Esta temperatura nunca se ha alcanzado. En temperaturas cercanas a este punto, la energía cinética de las moléculas es prácticamente nula y el material presenta propiedades como la *superconductividad*.

En la vida diaria, las escalas Celsius y Fahrenheit son las más usadas, pero en los estudios científicos se usa otra, llamada escala Kelvin, en honor al físico inglés Lord Kelvin (1824-1907) que la inventó en 1848.

En la escala termodinámica, el 273.15 K corresponde a 0° C, y los 373.15 K a 100° C. La escala termodinámica está definida de manera que un intervalo de 1 K es igual a 1° C (figura 5.8.).

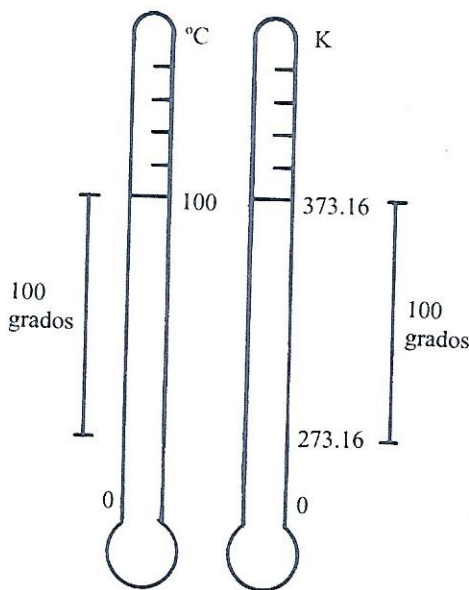


Figura 5.8. Comparación de las escalas Celsius y Kelvin

En la escala Kelvin se escogen dos puntos como referencia, uno es el *cero absoluto* o cero de la escala Kelvin y el otro es el *punto triple del agua*. Este punto ocurre a la presión de 4.58 torr y la temperatura de 273.15 K, corresponde a la única condición en la cual el agua puede existir simultáneamente en los estados líquido, sólido y gaseoso.

Convertir la lectura de una escala a la otra es muy sencillo, ya que según el caso basta sumar o restar 273.15. Esto matemáticamente se expresa así.

$$T_c = T - 273.15 \text{ K}$$

$$T = T_c + 273.15 \text{ K}$$

En estas ecuaciones, T (o T_k) representa la temperatura termodinámica expresada en Kelvin. (En la mayor parte de los problemas omitiremos .15 del número 273.15)

Ejemplo:

Una persona tiene una temperatura de 40° C. Expresa esta temperatura en grados Kelvin.

Solución:

Datos

$$T_c = 40^\circ\text{C}$$

$$T_k = ?$$

Fórmula

$$T_k = T_c + 273$$

Sustitución:

$$T_k = 40 + 273$$

Resultado

$$T_k = 313 \text{ K}$$

Termómetros industriales

Termómetro de tira bimetálica o bimetálico

Un método muy utilizado para la medición de temperatura es el que se basa en el *elemento bimetálico*. El elemento bimetálico está constituido por dos metales o aleaciones diferentes que poseen distinto coeficiente de dilatación (por ejemplo invar y latón), unidos firmemente entre sí por soldadura. Cuando la cinta se calienta o enfría, se produce una dilatación o contracción diferencial que la hace curvar (figura 5.9.). El metal de mayor coeficiente de dilatación es el que se representa rayado en los dibujos de la figura.

Muchos dispositivos, interruptores o conmutadores, tales como los termostatos de hornos, planchas eléctricas y lámparas interminentes de coches, funcionan según este principio.

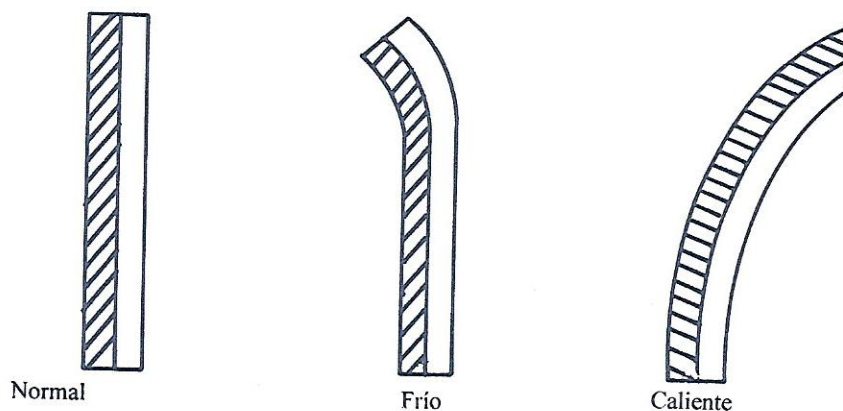


Figura 5.9. Principio en el que se basa el termómetro bimetalico.

Los termómetros bimetalicos usuales de aplicación industrial (figura 5.10.) constan de una tira continua arrollada en varias hélices de compensación, una dentro de la otra; esta disposición ofrece la ventaja de ser compacta y de proporcionar a la vez la gran longitud de cinta requerida para el desplazamiento adecuado del indicador. Estos termómetros se usan mucho para la medición de temperatura ambiental, de hornos y de cámaras de vapor.

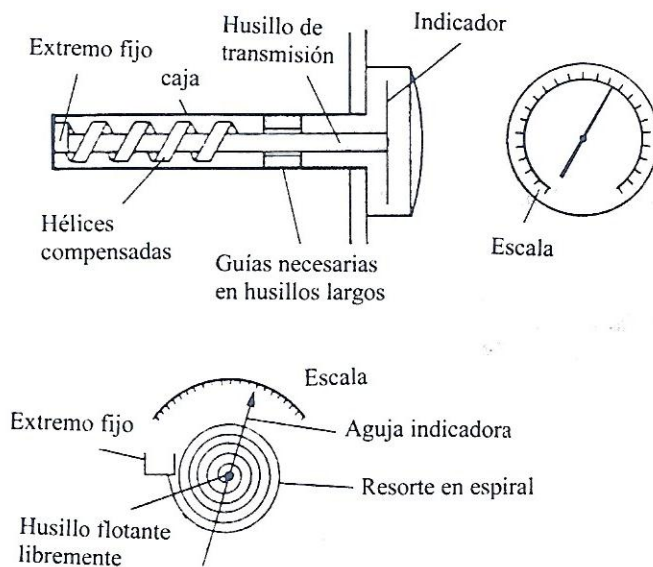


Figura 5.10. Termómetro bimetalico.

Termopar

La medición de temperatura por métodos eléctricos resulta ser muy conveniente, ya que estos métodos permiten obtener una señal que fácilmente puede detectarse, amplificarse o utilizarse para propósitos de control.

El método más común para medir temperatura por efectos eléctricos es el que utiliza el **termopar**. Cuando se juntan dos metales diferentes, como se muestra en la figura 5.11., se

produce una fuerza electromotriz entre los puntos A y B, la cual es, principalmente función de la temperatura de la junta. Este fenómeno se conoce como *efecto Seebeck* si se mide cuidadosamente la fuerza electromotriz (fem) generada en la junta de los metales diferentes como función de la temperatura, posteriormente dicha junta nos puede servir para la medición de la temperatura.

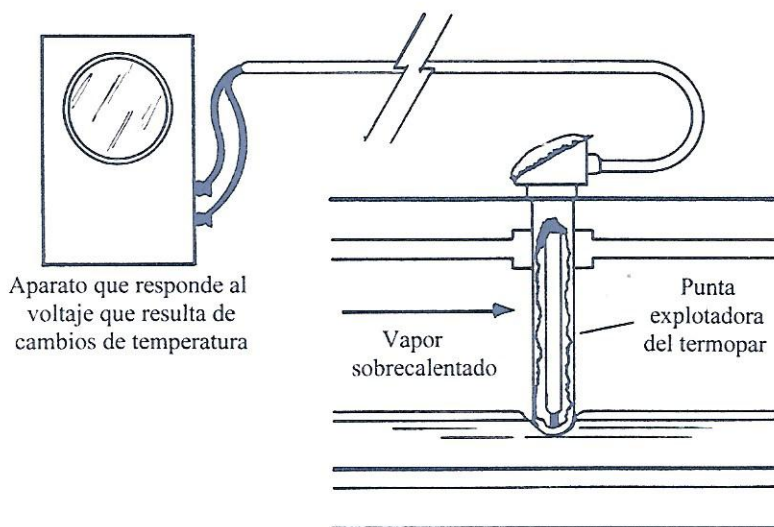


Figura 5.11. Termopar.

Los termopares involucran cuando menos dos juntas. Si se conoce la temperatura de una de ellas, entonces la temperatura de la otra se puede calcular fácilmente conociendo las propiedades termométricas de los materiales. A la temperatura conocida se le denomina temperatura de referencia, normalmente se emplea la temperatura de una mezcla de agua con hielo.

La variación de la fem (voltaje) del termopar con la temperatura se refleja en la curva de la figura 5.12., la cual se refiere al termopar tungsteno-molibdeno.

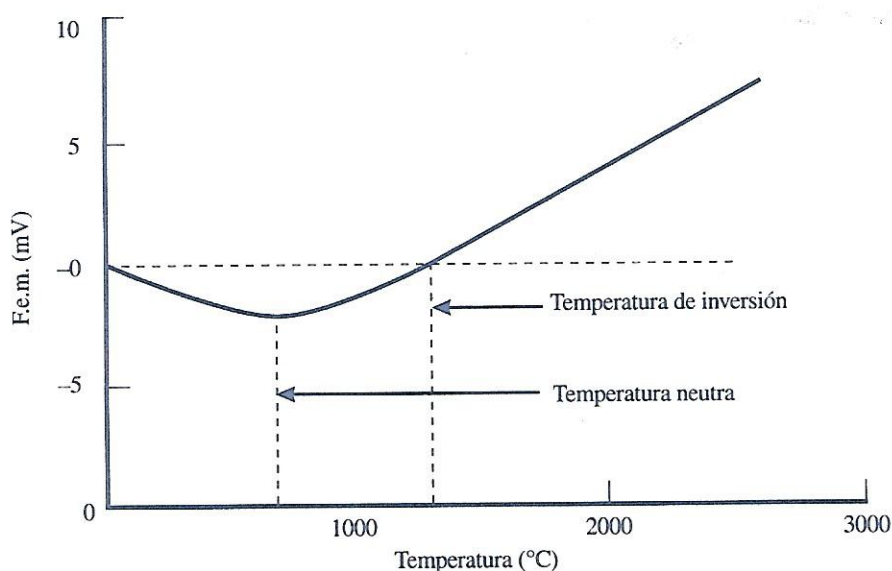


Figura 5.12. Variación de la fem con respecto a la temperatura para un termopar W – Mo.

Como se puede observa en la figura anterior, el voltaje de salida en los termopares es del orden de milivolts. Este voltaje es comparado con tablas estándar de termopares para conocer la temperatura del sistema u objeto a medir.

DILATACIÓN TÉRMICA

Uno de los efectos que puede producir un cambio de temperatura en los cuerpos es el cambio de dimensiones de éstos. Salvo algunas excepciones, los cuerpos, independientemente de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, se dilatan (aumentan de tamaño) cuando aumenta su temperatura. Este cambio que experimentan los cuerpos cuando varía la temperatura se conoce como **dilatación térmica** o **expansión térmica**.

Debido a este fenómeno es que se deja un pequeño espacio entre los rieles del ferrocarril, de esta manera al aumentar la temperatura, los rieles se pueden dilatar y llenar dicho espacio. Si este espacio no existiera entonces al aumentar la temperatura los rieles aumentarían deformándose de manera que se podría producir un descarrilamiento (figura 5.13.).

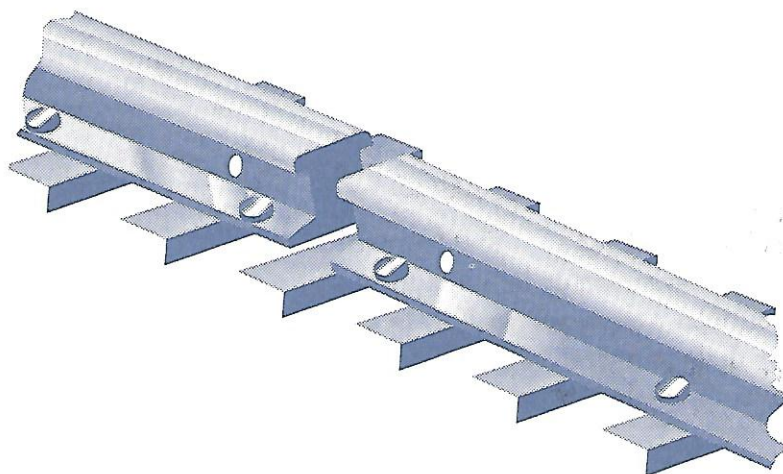


Figura 5.13. La distancia entre los rieles es útil para evitar deformaciones graves de éstos, cuando aumenta la temperatura.

Se puede entender esta **dilatación térmica** considerando un modelo sencillo de la estructura de un sólido cristalino. Los átomos en el sólido se mantienen juntos entre sí en un arreglo regular por medio de fuerzas eléctricas. Sin embargo, éstos átomos se encuentran en constante vibración en una posición media de equilibrio (figura 5.14.). Cuando se aumenta la temperatura del sólido se produce un incremento en la amplitud de vibración de sus átomos, de manera que la distancia promedio entre los átomos aumenta. Esto conduce a una dilatación de todo el cuerpo sólido.

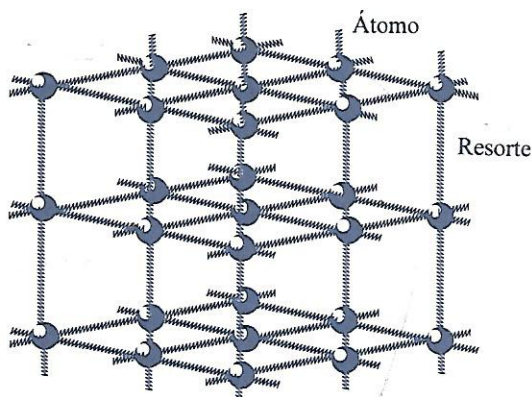


Figura 5.14. Un sólido cristalino se comporta en muchos sentidos como si fuese una colección de átomos unidos por resortes elásticos.

Dilatación lineal. La experiencia muestra que para un cuerpo en forma de barra, la variación de longitud ΔL con la temperatura es proporcional a la longitud original L_0 y a la variación de temperatura ΔT . Esta variación de longitud también depende del material del cuerpo. Esto se puede escribir matemáticamente por:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

En donde:

ΔL = aumento o contracción de la longitud.

L_0 = longitud inicial a temperatura T_0 .

ΔT = variación de la temperatura ($T - T_0$).

α = coeficiente de dilatación lineal.

Si L es la longitud del cuerpo en forma de barra cuando la temperatura es T , entonces la ecuación anterior se puede escribir como:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

o lo que es lo mismo:

$$L = L_0 (1 + \alpha (T - T_0))$$

La constante α es una constante propiedad de cada material que depende un poco de la temperatura y representa el cambio fraccionario en longitud por grado de cambio de temperatura. Se mide en $^{\circ}\text{C}^{-1}$ o K^{-1} . En la tabla 5.1. se presentan los valores de algunos coeficientes de dilatación de algunos materiales.

Tabla 5.1. Coeficiente de dilatación de algunos materiales.

Material	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Material	β^* ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Aluminio	24×10^{-6}	Alcohol etílico	1.12×10^{-4}
Cobre	17×10^{-6}	Benceno	1.24×10^{-4}
Vidrio ordinario	9×10^{-6}	Glicerina	4.85×10^{-4}
Plomo	29×10^{-6}	Gasolina	9.6×10^{-4}
Acero	11×10^{-6}	Acetona	1.5×10^{-4}
Concreto	12×10^{-6}	Trementina	9×10^{-4}

* β = coeficiente de dilatación volumétrica.

Ejemplo:

Calcular el incremento de longitud de un alambre de cobre que mide 50 m cuando la temperatura cambia de 12°C a 32°C . Para el cobre $\alpha = 1.7 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Solución:

Datos

$$L_o = 50 \text{ m}$$

$$T_o = 12^{\circ}\text{C}$$

$$T = 32^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta L = ?$$

Puesto que la dilatación es lineal, se emplea la siguiente ecuación

$$\Delta L = L_o \alpha (\Delta T)$$

Sustituyendo valores

$$\Delta L = 50 (1.7 \times 10^{-5}) (32 - 12)$$

Resultado

$$\Delta L = 1700 \times 10^{-5} = 0.017 \text{ m}$$

Dilatación Superficial. Cuando un cuerpo se calienta, todas sus dimensiones se dilatan lo cual incluye sus superficies. La dilatación superficial es simplemente la expansión lineal en dos dimensiones. Experimentalmente se ha encontrado que el cambio de área o superficie, es proporcional al área original y al cambio de temperatura de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta A = A_o 2\alpha \Delta T$$

En donde:

ΔA = variación de área.

A_o = área inicial a la temperatura T_o .

ΔT = variación de temperatura ($T - T_o$).

2α = representa la dilatación superficial.

La ecuación anterior también se puede escribir como:

$$A = A_o (1 + 2\alpha \Delta T)$$

En donde:

A = es el área a la temperatura T .

Dilatación volumétrica. Al calentar, un cuerpo todas sus dimensiones cambian, es decir, su volumen sufrirá un cambio predecible (generalmente un aumento) en proporción al aumento de temperatura.

Experimentalmente se ha encontrado que la dilatación o expansión volumétrica de los cuerpos debido al cambio de temperatura se puede producir y explicar por las siguientes ecuaciones:

$$\Delta V = V_o \beta \Delta T$$

$$V = V_o (1 + \beta \Delta T)$$

La constante β representa al cambio en volumen por unidad de volumen por grado de elevación de la temperatura. Esta constante recibe el nombre de *coeficiente de dilatación volumétrica* y es aproximadamente tres veces mayor que el coeficiente de dilatación lineal. Es decir:

$$\beta = 3 \alpha$$

Los líquidos se dilatan generalmente con un aumento de la temperatura, siendo generalmente su dilatación volumétrica 10 veces más grande que la de los sólidos.

En el caso de los gases la separación molecular es tan grande que todos ellos se dilatan en la misma proporción. A baja presión, el coeficiente de dilatación volumétrica o cúbica es prácticamente igual para todos los gases y tiene un valor de $(1/273)^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Dilatación aparente. Para detectar la dilatación de un líquido, éste debe estar alojado en un frasco, este recipiente se calienta junto con el líquido. Así, ambos se dilatan conjuntamente y, como la capacidad del recipiente aumenta, la dilatación que se observa para el líquido será una dilatación aparente, ya que su dilatación real será mayor que la observada.

Dilatación irregular del agua. El líquido más común e importante para la vida, el agua, no se comporta como muchos otros líquidos. El agua a más de 4° C se dilata (aumenta) al aumentar la temperatura, aunque no linealmente. Empero, al bajar la temperatura de 4° C a 0° C, el agua se dilata en lugar de contraerse (figura 5.15.).

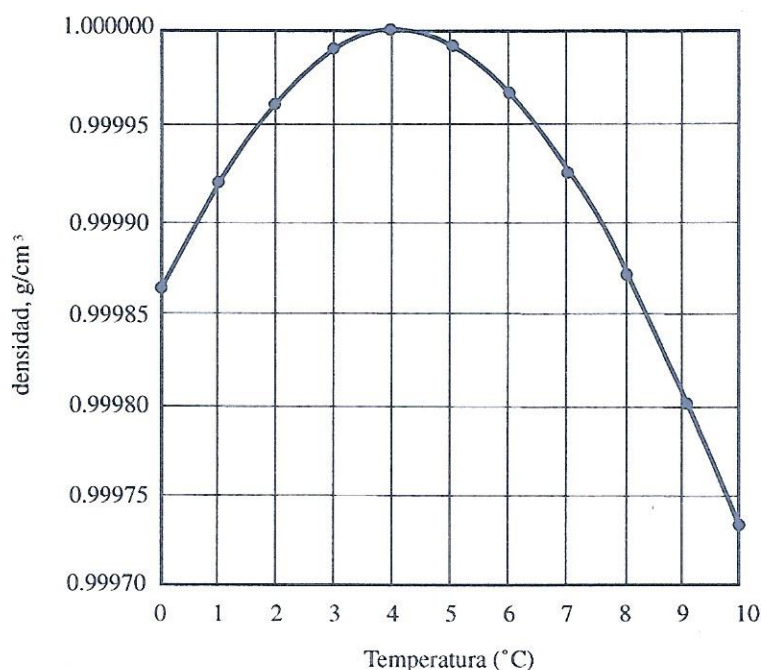


Figura 5.15. Variación de la densidad con la temperatura para el agua a presión atmosférica.

Tal dilatación con descenso de la temperatura no se observa en los líquidos comunes que conocemos, pero si en sustancias parecidas al hule. Por esta razón, la densidad del agua tiene un máximo en 4° C, donde su valor es de 1 000 Kg/m³. Debido a este fenómeno los ríos y lagos sólo se congelan en su superficie, pues en el fondo queda agua con su máxima densidad a 4° C. Gracias a esto se preserva la fauna y flora acuática.

LEYES DE LOS GASES IDEALES

En esta sección nos ocuparemos del estudio del comportamiento de un gas de masa m confinado en un recipiente de volumen V a una presión P y temperatura T . Si consideramos que el gas dentro del recipiente tiene una densidad muy baja, entonces se dice que dicho gas es un *gas ideal*. La mayor parte de los gases a temperatura ambiente y presión atmosférica se comportan casi como gases ideales. (Figura 5.16.).

El gas encerrado en el cilindro se considera como un **sistema** o **sistema termodinámico** (por ser una porción limitada de materia). El estado de un sistema (gas encerrado en el recipiente) está determinado por los valores de la presión, volumen, temperatura y cantidad de sustancia que puede tener. Esas cantidades se llaman *parámetros* o *variables termodinámicas* del sistema. Si las variables cambian se dice que ocurrió un *proceso*.

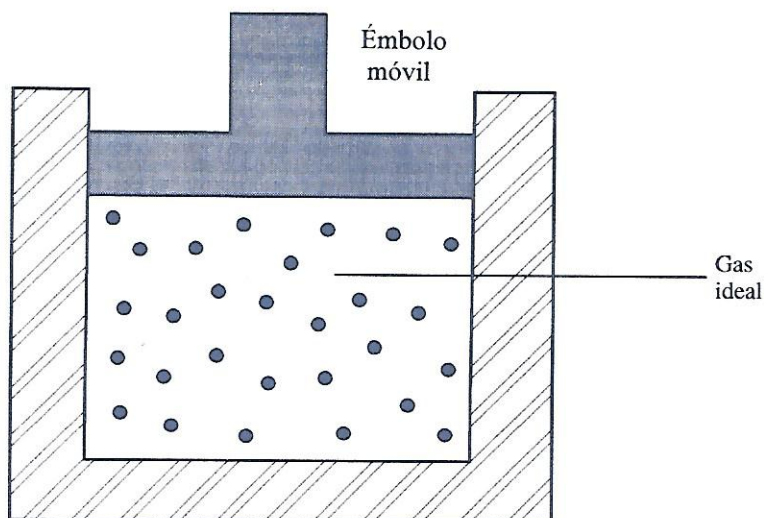


Figura 5.16. Gas ideal dentro de un cilindro cuyo volumen puede variarse con un émbolo móvil.

Las primeras mediciones experimentales sobre el comportamiento de los gases fueron hechas por Robert Boyle, quien estudió los cambios en el volumen de gases como resultado de cambios en presión. Puesto que los cambios del gas que él estudió se dan a temperatura constante, se dice que se trata de un **proceso isotérmico**.

Como vimos en la unidad 4, él concluyó que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Si se grafica el comportamiento del gas se obtiene la curva de la figura 5.17.

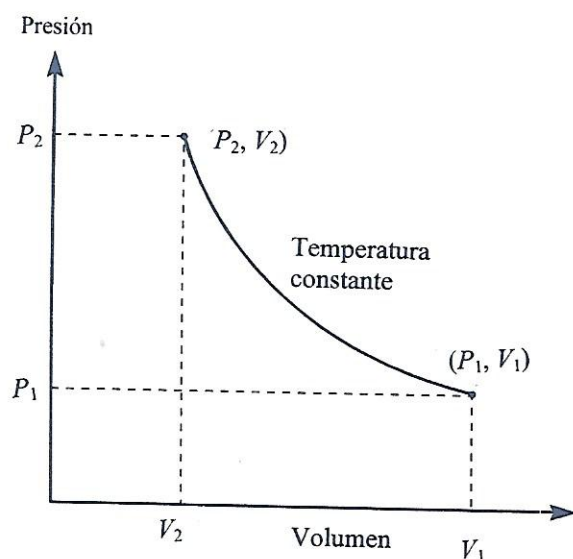


Figura 5.17. Se muestra que la presión de un gas ideal varía inversamente con el volumen.

Ley de Charles y Gay Lussac o simplemente de Gay Lussac

El estudio del comportamiento de los gases también fue realizado por los científicos franceses J. L. Gay Lussac (1778-1850) y J. Charles (1746-1823). Estos científicos analizaron experimentalmente la dilatación térmica de una masa gaseosa a una presión constante (figura 5.18.). Al hacer mediciones, encontraron que si aumentaba la temperatura, aumentaba el volumen y que si disminuía la temperatura, disminuía el volumen; de manera que encontraron la ley que se conoce con sus nombres y que dice: *Si la presión de una masa gaseosa dada se mantuviera constante, su volumen variaría en proporción directa a su temperatura.* Este enunciado se expresa matemáticamente por:

$$\frac{V}{T} = \text{constante}$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

donde V_1 y T_1 representan el volumen y la temperatura iniciales, respectivamente, y V_2 y T_2 el volumen y la temperatura segundos o finales. Las temperaturas deberán expresarse en grados Kelvin. Al mantenerse la presión constante se dice que se trata de un **proceso isobárico**.

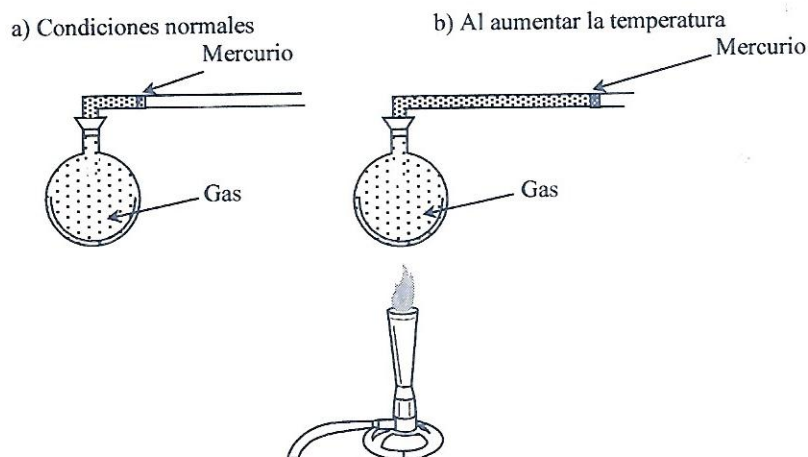


Figura 5.18. Al aumentar la temperatura, el volumen del gas también aumenta.

Charles mantuvo un gas a 0°C bajo una presión de 101 K Pa. Al aumentar su temperatura 1°C el gas se expandió $1/273$ de su volumen original. Al aumentar la temperatura a 2°C , el volumen aumentó $2/273$ de su volumen inicial. A 273°C el volumen fue el doble del volumen a 0°C . Charles obtuvo resultados similares cuando redujo a bajo 0°C la tempe-

ratura del gas. Este descubrimiento tuvo un impacto sorprendente, pues teóricamente *si se baja la temperatura del gas a -273.15°C su volumen sería cero*. En la figura 5.19, se muestra la gráfica que relaciona el volumen de un gas con la temperatura a presión constante.

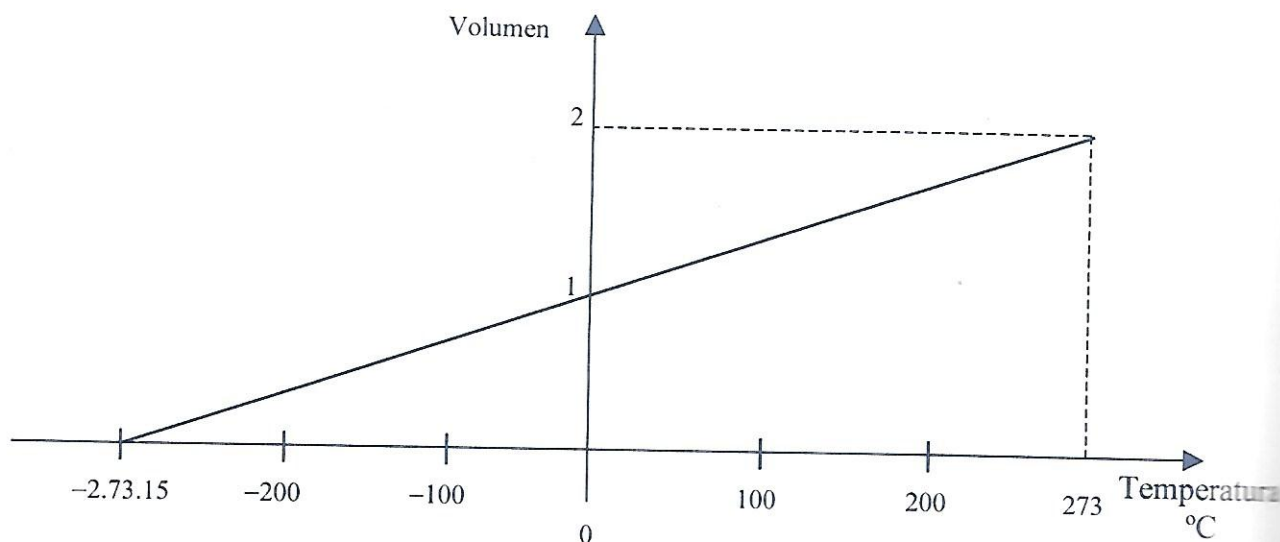


Figura 5.19. La línea recta indica que el volumen varía directamente con la temperatura.

Desde el punto de vista microscópico, se dice que al aumentar la temperatura se aumenta la energía cinética de las moléculas o átomos del gas. Dicho aumento debe traducirse en una mayor velocidad (y, por tanto, en choques más frecuentes) y choques más fuertes con las paredes del recipiente; o sea, un aumento de la presión. Por tanto, si se desea que la presión permanezca constante, es necesario que aumente el volumen.

Ejemplo:

Un volumen de 22 m^3 de gas de gas nitrógeno, a 30°C , se calienta a una presión constante hasta una temperatura de 150°C . ¿Cuál es el nuevo volumen del gas?

Solución:

Datos

$$V_1 = 22.0\text{ m}^3$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 150^\circ\text{C}$$

$$V_2 = ?$$

Primeramente se convierten las temperaturas a grados Kelvin

$$T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$$

$$T_2 = 150 + 273 = 423 \text{ K}$$

De la ley de Gay Lussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Sustituyendo valores

$$\frac{22}{303} = \frac{V_2}{423} \Rightarrow V_2 = \frac{423(22)}{303} = 30.7 \text{ m}^3$$

Ley de Charles

Existe otra ley que se deduce a partir de las anteriores y que relaciona la presión del gas con su temperatura, cuando el volumen es constante. Se enuncia de la siguiente manera: *Si el volumen de una masa de gas se mantiene constante, su presión variará en proporción directa a su temperatura* (expresada en grados Kelvin), es decir:

$$\frac{P}{T} = \text{constante}$$

o lo que es lo mismo

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

donde P_1 y T_1 son la presión y la temperatura iniciales, respectivamente, y P_2 y T_2 son la presión y temperatura finales.

Ley general de los gases ideales

Las tres leyes anteriores pueden combinarse en una sola, más general, que se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$\frac{PV}{T} = \text{constante}$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Puesto que la ley general de los gases se ocupa de la relación que hay entre las propiedades macroscópicas medibles de un gas ideal: la temperatura absoluta T , la presión P , el volumen V , y la masa m . Se acostumbra especificar la masa m en forma indirecta por medio del número n de moles de gas. Por definición:

$$n = \frac{m}{\omega}$$

donde ω es la masa molecular de las moléculas del gas. Si la masa m se da en gramos, entonces n es el número de moléculas gramo o moles. Así, 1 g mol de cualquier material contiene ω gramos del materia. Por ejemplo, el oxígeno tiene una masa molecular de 32; por tanto, 1 g mol de oxígeno está formado por 32 g.

Una forma muy común de la ley general de los gases, basada en experimentos con gases a bajas densidades, es

$$PV = nRT$$

donde R es la *constante universal de los gases*.

Es un hecho experimental que de un gas ideal a la temperatura normal (273.15 K) y a la presión atmosférica normal ($1.013250 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) ocupa un volumen de $22.415 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 22.4$ litros. Por tanto, a partir de la ecuación anterior:

$$\begin{aligned} R &= \frac{pV}{nT} \\ &= \frac{(1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(22.415 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{(1 \text{ g mol})(273.15 \text{ K})} \\ &= 8.314 \text{ J/g mol} - ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

El valor numérico de R depende, desde luego, de las unidades usadas para P y V . Con P en atmósfera y V en litros.

$$R = 0.08207 \text{ litro-atm/g mol} - \text{K}$$

y si las unidades en que se expresa la energía son calorías, donde $1 \text{ cal} = 4.1840 \text{ J}$.

$$R = 1.986 \text{ cal/g mol} - \text{K}$$

Ejemplo:

¿Cuál es la masa de 80 litros de hexafluoruro de uranio (UF_6) a $500^\circ C$ y 4 atm de presión?

Solución:

Datos

$$P = 4 \text{ atm}$$

$$V = 80 \text{ l}$$

$$T = 500^\circ C = 773 \text{ K}$$

$$R = 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$M_U = 238.03$$

$$M_F = 19.00$$

$$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

Para resolver este problema se emplea la ley del gas ideal para encontrar el número de moléculas de UF_6 es decir:

$$PV = nRT$$

Por tanto

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{4(80)}{(0.0821)(773)} = 5.04 \text{ mol}$$

La masa molecular de UF_6 es:

$$1(U) = 1(238.03) u = 238.03 u$$

$$6(F) = 6(19.00) u = 114.00 u$$

$$\underline{352.03 m} = 352.03 \text{ g/mol}$$

Así la masa de UF_6 es:

$$\text{masa de } UF_6 = (\text{moles } UF_6) (\text{masa molecular de } UF_6)$$

$$= (5.04 \text{ mol}) (352.03 \text{ g/mol}) = 1774.23 \text{ g}$$

CALORIMETRÍA

Calor

Cuando mezclamos un litro de agua hirviendo con otro litro de agua a la temperatura ambiente hemos observado que el agua adquiere una temperatura intermedia, entre la ebullición del agua y la del ambiente.

De esta experiencia y otras semejantes concluimos que, entre dos cuerpos a diferentes temperaturas que entran en contacto térmico, la temperatura del cuerpo más caliente disminuye y la temperatura del cuerpo más frío aumenta. Si se dejan en contacto durante cierto tiempo, alcanzan una temperatura común de equilibrio cuyo valor está comprendido entre las temperaturas iniciales. Cuando ocurre dicho proceso, se dice que se transfirió energía en forma de calor del cuerpo más caliente al cuerpo más frío. Esto se debe a que las partículas del cuerpo más caliente tienen más energía, más agitación que las del segundo; al ponerlos en contacto, las partículas del primero golpean sobre las del segundo y aumentan el movimiento de éstas. Por consiguiente, aumentan la temperatura y la energía térmica del segundo y disminuye la temperatura y energía del primero (figura 5.20.).

El término **calor** sólo debe usarse cuando se describe la energía que se transfiere de un cuerpo a otro como consecuencia de las diferencias de temperatura entre dichos cuerpos. Es decir, el calor es la *energía que pasa de un cuerpo a cierta temperatura a otro de temperatura menor* (figura 5.20a). Una vez que se ha efectuado la transferencia, la energía deja de ser calor. Se convierte en *energía interna*.

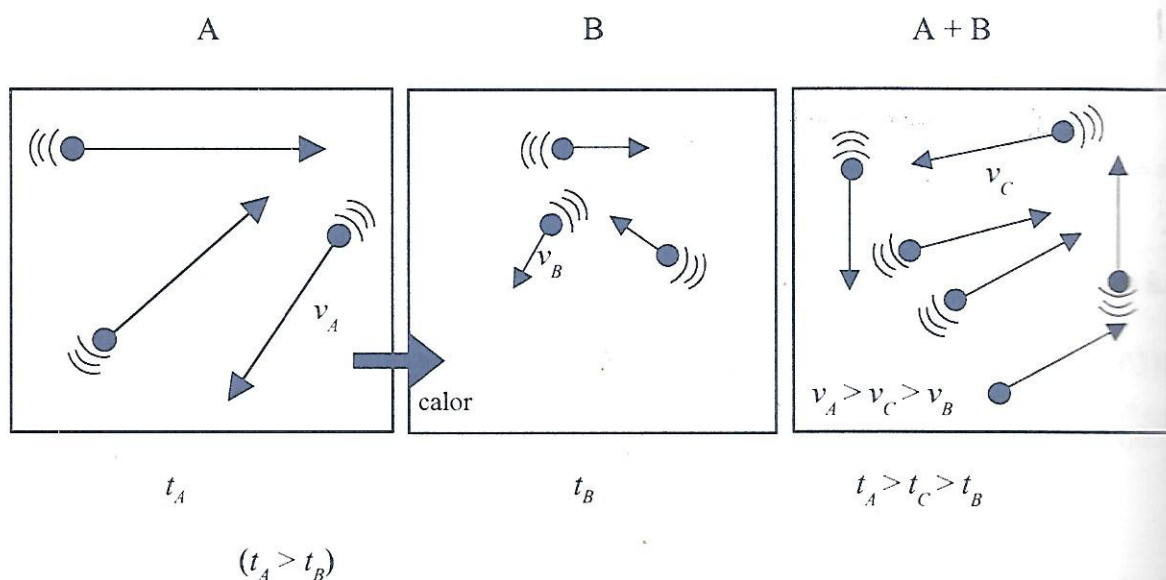


Figura 5.20. Al ponerse en contacto térmico A y B después de cierto tiempo, ambos tendrán la misma temperatura y sus partículas tendrán la misma energía cinética promedio, porque su velocidad promedio será igual.

El concepto de calor es similar al concepto de trabajo, porque representa un medio para la transferencia de la energía. Ni el calor ni el trabajo son propiedades intrínsecas de un sistema; esto es, no podemos decir que un sistema contiene cierta cantidad de calor o de trabajo. En cambio, decimos que puede transferir una cierta cantidad de energía en forma de calor o de trabajo en ciertas condiciones específicas.

La energía que fluye del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura recibe el nombre de calor o energía calorífica. El cuerpo que **gana** energía por este mecanismo se dice que absorbe calor, y el que la **pierde** decimos que desprende calor. El calor se considera **positivo** cuando es **absorbido** por el cuerpo y **negativo** cuando es **desprendido** por el cuerpo. El calor se representa por el símbolo Q .

En el lenguaje cotidiano es frecuente que se emplee el término de energía térmica como sinónimo de calor. Sin embargo, para los físicos estos conceptos son diferentes, pues definen a la **energía térmica** como la energía que contiene una sustancia en virtud de los movimientos aleatorios de sus átomos y moléculas y al **calor** como la energía que se transfiere de un cuerpo a otro debido a la diferencia de temperatura entre ellos.

El calor es energía en tránsito, que fluye de un cuerpo a otro, pero la energía térmica puede o no hacerlo. Una vez que se ha transferido calor a un cuerpo, deja de ser calor y se convierte la mayoría de las veces en energía térmica. Además la energía térmica de un cuerpo también puede incrementarse por medios mecánicos. *La energía térmica es la parte de la energía interna que está relacionada con el movimiento de los átomos y moléculas del cuerpo.*

Unidades de calor

Antes de que se supiera que el calor es una forma de energía, los científicos las definieron en términos de los cambios en la temperatura que éste produce en un cuerpo. En este sentido, definieron a la **caloría** (cal) como la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de 1 g de agua de 14.5°C a 15.5°C . Para el sistema inglés se definió la **unidad térmica británica** (Btu), como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 lb (libra) de agua de 63°F a 64°F (figura 5.21.).

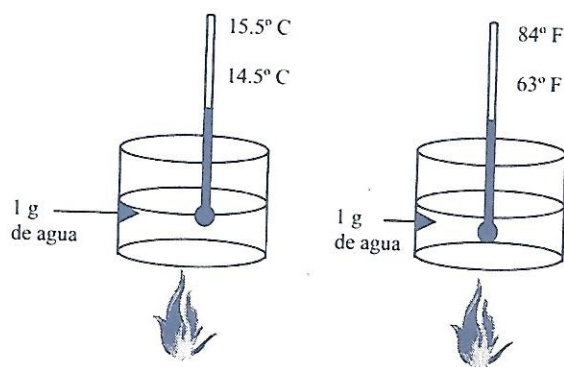


Figura 5.21. La caloría y el Btu son unidades de calor.

Equivalente mecánico del calor

Han existido diferentes opiniones acerca de lo que es el calor. Hubo una serie de científicos que creían que el calor era una sustancia material invisible llamada *calórico*, que pasaba de un cuerpo a otro. De acuerdo con esta teoría, el calor no se podía crear ni destruir. Aunque la teoría del calórico tuvo éxito en la descripción de la transferencia del calor, se abandonó cuando diversos experimentos demostraron que de hecho el calórico no se conservaba.

El primero que prestó atención a esto fue Benjamín Thompson (que después se convirtió en conde de Rumford). Él observó cómo en el depósito militar de Munich taladraban los tubos de los cañones. Anteriormente nadie se preguntó seriamente por qué se calentaban los cañones; Rumford no encontró respuesta. La única solución podía consistir en que la viruta contenía menos calórico que la pieza de metal y el sobrante se desprendía cuando se taladraba. En tal caso, sería más fácil calentar la viruta que el metal, pero esto contradecía abiertamente la experiencia. Otra dificultad, aún mayor, consistía en que los taladros mellados producían más calor que los que estaban bien afilados. De forma incomprensible, taladrando se podían obtener cantidades ilimitadas de calor. Todo esto contradecía el simple modelo del calórico que fluye de un lugar a otro. Lamentablemente, la exactitud de los experimentos era aún muy pobre a finales del siglo XVIII y aunque científicos destacados en esa época apoyaron a Rumford para debilitar la teoría del calórico, tuvieron que pasar otros cincuenta años antes de que sus puntos de vista y los resultados experimentales fueran aceptados.

El vínculo entre la energía y el calor fue establecido en el experimento de James Joule (1873), que dio una relación cuantitativa entre el trabajo y el calor.

En la figura 5.22., se muestra un diagrama esquemático del famoso experimento de Joule. El dispositivo consta de un recipiente aislado térmicamente, con agua en su interior,

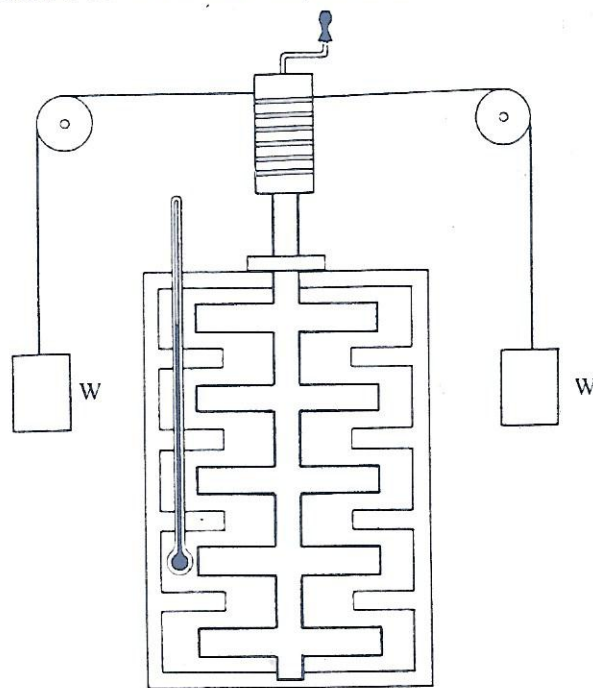


Figura 5.22. Representación del dispositivo experimental empleado por Joule.

y de un cuerpo de peso conocido atado a una cuerda, de manera que durante su caída podía accionar un sistema de paletas, que giraba y agitaba el agua contenida en el recipiente aislado térmicamente. Debido a la fricción de las paletas con el agua, el peso caía con una velocidad prácticamente constante; es decir, su energía cinética se mantenía invariable. Por tanto, la energía potencial perdida por el cuerpo se transformaba íntegramente en el trabajo de agitación y luego en energía interna del agua, debido a la fricción producida en ella por las paletas. De este modo, la temperatura del agua se elevaba en forma similar a lo que sucedería si recibiera calor. Un termómetro adaptado al dispositivo experimental permitió a Joule medir el aumento de temperatura.

Conociendo el valor del peso cuya caída accionaba las paletas, así como la altura de dicha caída, Joule pudo calcular la energía potencial perdida por el cuerpo. Por otra parte, al conocer el valor de la masa de agua en el recipiente y midiendo el aumento de su temperatura, le fue posible calcular la cantidad de energía térmica transferida al agua. Comparando estos valores, Joule logró establecer la relación buscada, es decir, cuántas unidades de energía mecánica equivalen a una unidad de calor.

El valor obtenido a través de mediciones precisas es:

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

$$\text{Una caloría} = 4.18 \text{ Joules}$$

A este valor se le llama **equivalente mecánico del calor**.

Este resultado puso de manifiesto que *el calor es una forma de energía* y que *un trabajo mecánico puede producir calor*. Tú puedes constatar esto, si doblas repetidamente un alambre e inmediatamente tocas la región doblada. ¡Estará caliente!

En virtud de que el calor es una forma de energía, se pueden utilizar las unidades de energía para medirlo. En la IX Conferencia General de Pesas y Medidas, reunida en París en 1949, se determinó que *el calor debe expresarse en joules*. Pero la costumbre hará que pasen años antes que la caloría se deje de usar en la vida cotidiana.

Ejemplo:

Un cuerpo transfirió a otro 1 000 cal. Expresa esta energía en joule.

Solución:

Datos

$$Q = 1000 \text{ cal}$$

$$Q = ? \text{ J.}$$

Equivalente mecánico del calor

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$$

Factor de conversión

$$\frac{4.184 J}{1 cal}$$

Por tanto:

$$Q = 1\,000 cal \left(\frac{4.184 J}{1 cal} \right) = 4\,184 J$$

Medición del calor

Capacidad calorífica

Si en un vaso con agua hirviendo se introducen dos cuerpos de masas iguales pero de sustancias diferentes y después de un breve rato los sacamos y medimos sus temperaturas encontraremos que éstas no son iguales, debido a que la capacidad calorífica de cada sustancia es diferente.

La capacidad calorífica, C , de cualquier cuerpo se define como la *cantidad de energía calorífica que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura del cuerpo*.

Los cuerpos cuya capacidad calorífica es alta se calientan más lentamente, porque deben absorber mayor cantidad de calor, también se enfrían con mayor lentitud, porque deben liberar más calor. Matemáticamente, la capacidad calorífica se obtiene con la siguiente expresión:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$\text{capacidad calorífica} = \frac{\text{calor absorbido o cedido}}{\text{cambio de temperatura}}$$

La capacidad calorífica se puede expresar en $\text{cal}/^\circ\text{C}$ o en $\text{J}/^\circ\text{C}$.

Calor específico

La capacidad calorífica de un cuerpo no indica gran cosa acerca de las propiedades térmicas del material de que está hecha; por ejemplo, la capacidad calorífica de 1 kg de cobre es diferente de la que tiene 1 kg de aluminio; también es distinta de la de 2 kg de aluminio. Para obtener el valor característico del calor absorbido en relación con un mismo cambio de temperatura por el cobre, el aluminio o cualquier otro material, se deben comparar las capa-

tidades caloríficas de masas iguales de tales materiales. Al hacer esta comparación se obtiene un valor característico de cada sustancia, conocido como calor específico o capacidad calorífica específica.

El calor específico de un cuerpo es característico del material del que está hecho. Se dice que el **calor específico** es la capacidad calorífica de un material por unidad de masa. Además es numéricamente igual a la cantidad de calor que se debe suministrar a una unidad de masa de dicho material para que su temperatura se eleve en un grado. Si Q es la cantidad de calor necesario para producir un cambio de temperatura, ΔT , en un material de masa (m), entonces el calor específico (c), se obtiene de la siguiente ecuación:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Reordenando:

$$Q = m c \Delta T$$

donde:

$$\Delta T = T - T_0$$

De manera que la cantidad de calor necesaria para producir cierto cambio en la temperatura de un cuerpo es igual al producto de la masa del material por su calor específico y por dicho cambio de temperatura.

El calor específico puede expresarse por cal/g° C o por J/kg °C. En la tabla 5.2., se presentan calores específicos de algunas sustancias.

Tabla 5.2 Calores específicos.

Sustancia	c (cal/g° C)	c (J/kg° C)
Plomo	0.030	130
Mercurio	0.033	140
Cobre	0.092	390
Aluminio	0.214	920
Oro	0.0308	129
Hierro	0.107	448
Hielo	0.530	2300
Agua	1.0	4186
Vidrio	0.200	837

Como una caloría hace que se eleve 1° C la temperatura de 1 g de agua, entonces el calor específico del agua es 1 cal/g° C (4184 J/kg° C). El calor específico de casi todas las sus-

▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲

tancias es menor que el del agua. El gran calor específico del agua es responsable, en parte, de que los cambios de temperatura entre el día y la noche no sean bruscos en las regiones cercanas a grandes masas de agua, pues durante el día éstas absorben calor (energía transmitida por el Sol) y durante la noche lo ceden, a través del movimiento del aire hacia la costa o alrededores de dichas masas de agua.

Ejemplo:

Determina la cantidad de calor ganado por 1 Kg de agua para elevar su temperatura de 20° C a 80° C.

Solución:

Datos

$$m = 1\text{kg} = 1000\text{ g}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

De la tabla de calores específicos

$$c = 1\text{ cal/g }^\circ\text{C}$$

Fórmulas

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$Q = mc\Delta T$$

Sustitución

$$Q = 1\,000\text{ (1) (80 - 20)}$$

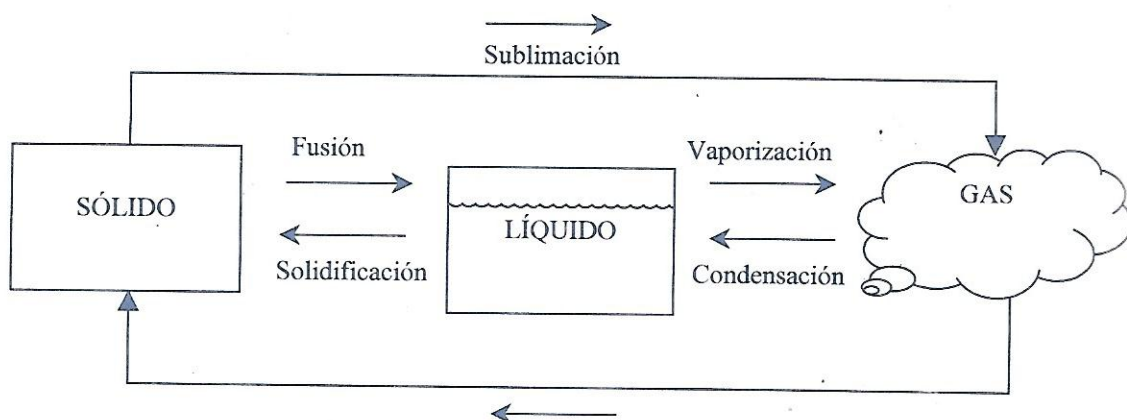
Resultado

$$Q = 60\,000\text{ cal}$$

Cambios de fase

La materia ha sido clasificada por los físicos, en sólida, líquida, gaseosa y plasma. El agua es una sustancia que en la naturaleza se puede encontrar en estado **sólido** en forma de hielo. Cuando se le agrega energía deja de tener la rígida estructura molecular para pasar al estado **líquido**, pero, si se le agrega más energía, el líquido cambia al estado **gaseoso** que en el caso del agua se denomina vapor. Cuando se agrega más energía, las moléculas se rompen en iones, al estado de **plasma**. Los cuatro estados reciben el nombre de fase, y la transición de un estado a otro se le denomina transición o cambio de fase o de estado (figura 5.23.).

La energía es absorbida cuando el cambio de fase es en esta dirección.



La energía es liberada cuando el cambio de fase es en esta dirección.

Figura 5.23. Cambios de fase o de estado.

Los cambios de fase pueden realizarse suministrando o extrayendo energía, cuya acción consiste en separar o juntar las moléculas de la sustancia que va a cambiar de fase.

Calor latente

La cantidad de calor (energía) que participa en un cambio de fase por unidad de masa se conoce con el nombre de **calor latente** expresión que significa “oculto”, pues el calor se proporciona o se extrae sin que haya cambios en la temperatura, es decir, que durante el cambio de fase, por ejemplo de sólido a líquido, la *temperatura permanece invariable* durante este proceso hasta que el sólido se haya fundido completamente.

Fusión y calor latente de fusión. El cambio de fase de sólido a líquido, recibe el nombre de **fusión**, y la temperatura a la cual ocurre este cambio se denomina **temperatura o punto de fusión** de la sustancia y la cantidad de calor necesaria para fundir una unidad de masa de una sustancia en su punto de fusión se llama **calor latente de fusión**. El calor latente de fusión L_f o (H_f) se calcula de la siguiente expresión matemática:

$$L_f = \frac{Q}{m}$$

La cual se puede expresar como:

$$Q = m L_f$$

donde:

Q = calor absorbido.

m = masa de la sustancia.

L_f = calor latente de fusión.

El calor latente de fusión en el S. I. se expresa en J/kg, sin embargo, también se acostumbra expresar en cal/g y Btu/lb. En la tabla 5.3., se muestran algunos calores latentes de fusión.

Vaporización y calor latente de vaporización. El cambio de fase de líquido a gas recibe el nombre de **vaporización** y la temperatura a la cual ocurre este cambio recibe el nombre de **temperatura o punto de ebullición** de la sustancia. La cantidad de calor necesaria para vaporizar la unidad de masa de una sustancia en su punto de ebullición se llama **calor latente de vaporización**. El calor latente de vaporización L_v se calcula de la siguiente expresión matemática:

$$L_v = \frac{Q}{m}$$

La cual se puede expresar como:

$$Q = m L_v$$

donde:

Q = calor absorbido.

m = masa de la sustancia.

L_v = calor latente de fusión.

El calor latente de vaporización en el S. I. también se expresa en J/kg, sin embargo, se acostumbra expresar en cal/g y Btu/lb. En la tabla 5.3., se muestran algunos calores latentes de vaporización.

Tabla 5.3. Calores latentes de fusión y vaporización.

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Hielo	- 269.65	5.23×10^3	- 268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	- 209.97	2.55×10^4	- 195.81	2.01×10^5
Alcohol etílico	- 114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0	3.33×10^5	100	2.26×10^6
Plomo	327.3	2.45×10^4	1750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2450	1.14×10^5
Cobre	1083	1.34×10^5	1187	5.0×10^6

Condensación y calor latente de condensación. El paso del estado gaseoso al líquido recibe el nombre de condensación y la temperatura a la cual ocurre este proceso es igual a la temperatura de ebullición. En este cambio de fase se extrae energía del gas equivalente al requerido para vaporización. Por tanto, el calor de condensación es equivalente al calor de vaporización. La diferencia estriba solamente en la dirección de la transferencia de energía.

Solidificación y sublimación. El paso del estado líquido al sólido recibe el nombre de **congelación o solidificación** y la temperatura a la cual ocurre este cambio es la misma que la temperatura de fusión. El *calor latente de solidificación* es exactamente igual al *calor latente de fusión*. La diferencia que existe entre solidificación y fusión estriba en si la energía (calor) se libera o se absorbe.

Por otra parte, es importante señalar que en condiciones apropiadas de temperatura y presión, es posible que una sustancia cambie de la fase sólida a la fase gaseosa sin pasar por la fase líquida, este proceso recibe el nombre de **sublimación** y la cantidad de calor absorbido o liberado por la unidad de masa al cambiar de sólido a gas o de gas a sólido recibe el nombre de **calor latente de sublimación**.

Con frecuencia es útil estudiar los cambios de fase de una sustancia, a partir de una gráfica que muestre la forma en que la temperatura de una sustancia varía de acuerdo con el calor absorbido. Una gráfica de este tipo se muestra en la figura 5.24. Si se calienta un gramo de hielo que se toma de un refrigerador a -20°C , su temperatura se incrementará gradualmente hasta que el hielo comience a fundirse a 0°C . *Durante la fusión la temperatura permanece constante.* Una vez que el hielo se funde, la temperatura comienza a elevarse otra vez con una rapidez uniforme. Hasta que empieza a hervir a 100°C . Durante el proceso de vaporización, la temperatura permanece constante. Una vez que se ha evaporado toda el agua la temperatura comienza a elevarse.

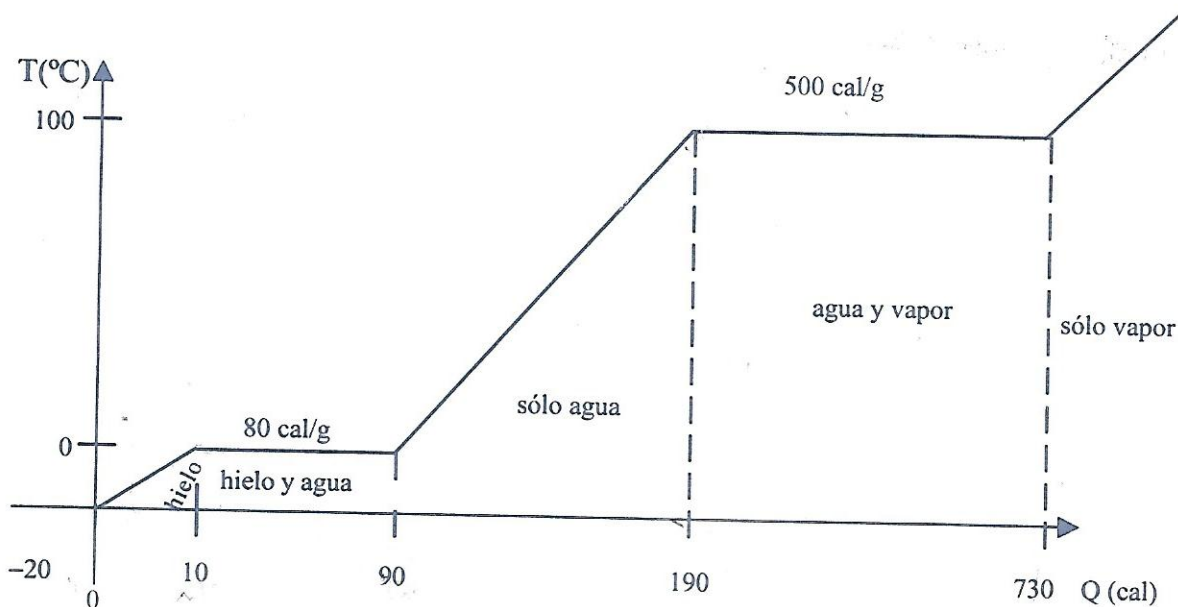


Figura 5.24. Variación de la temperatura con respecto al calor proporcionado a 1 gramo de agua.

Ejemplo:

¿Qué cantidad de calor se requiere para que 400 g de hielo a 0° C se fundan completamente a dicha temperatura?

Solución:

Datos

$$m = 400 \text{ g} = 0.4 \text{ kg}$$

$$L_f = 3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$Q = ?$$

Fórmula

$$Q = m L_f$$

$$Q = 0.4 (3.33 \times 10^5)$$

Resultado

$$Q = 1.33 \times 10^5 \text{ J}$$

Calorimetría

La **calorimetría** es la parte de la termodinámica que se encarga de medir el calor. El principio fundamental de la calorimetría es la **conservación de la energía**. Si un cuerpo caliente y un cuerpo frío se ponen en contacto térmico y no fluye calor a los alrededores sino del cuerpo más caliente al frío, se cumple que:

$$\begin{array}{ccc} \text{Calor perdido} & = & \text{Calor ganado} \\ \text{(por el cuerpo caliente)} & & \text{(por el cuerpo más frío)} \end{array}$$

El poder medir el calor permite conocer el calor específico, o los calores latentes de una sustancia, la temperatura final de una mezcla, etcétera.

Para medir el calor se emplea el **calorímetro**, el cual por definición, es un sistema adiabático, esto es, que puede intercambiar trabajo, pero no calor, entre su interior y su vecinidad (figura 5.25.).

En el calorímetro ocurre la transferencia de calor entre las sustancias que se vierten en él, debido a que aísla térmicamente dichas sustancias para que el calor no pueda fluir a la vecindad (ambiente) o viceversa. El termo común es un ejemplo perfecto de calorímetro.

Suponiendo que en el calorímetro se vierten dos sustancias con diferentes temperaturas, el calor fluirá, de la sustancia a mayor temperatura a la de menor temperatura hasta que ambas lleguen a la misma temperatura, o sea, hasta que se establezca el equilibrio térmico. Al aplicar la ley de la conservación de la energía en el interior del calorímetro se encuentra que el calor ganado por una de las sustancias (la de menor temperatura) es cedido por la otra sustancia (la de mayor temperatura) o sea que *la suma de los intercambios de calor en el calorímetro es cero*. En otras palabras, *la energía total de las sustancias aisladas dentro del calorímetro no cambia.*

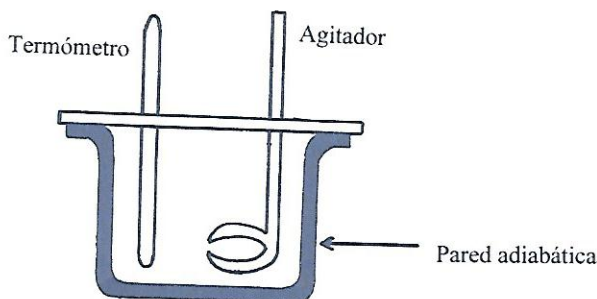


Figura 5.25. El calorímetro es un sistema adiabático.

Los tipos de intercambio de calor que se pueden dar en el calorímetro son:

1. Que una masa m de una sustancia experimente un cambio de temperatura de T_0 a T_f de manera que el calor ganado (positivo) o perdido (negativo) se calcula por:

$$Q = mc (T_f - T_0)$$

donde:

c = calor específico

Es importante señalar que esta ecuación se emplea en intervalos de temperatura que no incluyan un cambio en la fase de la sustancia.

2. Que se funda una masa m de la sustancia, de manera que el calor requerido para que esto suceda sin que exista un cambio de temperatura se calcula por $Q_f = m L_f$, sin embargo si la sustancia se solidifica el calor se obtiene de $Q_s = -m L_f$.
3. Que se vaporice una masa m de la sustancia de manera que el calor requerido para que esto suceda durante su temperatura de ebullición se obtiene de $Q_v = m L_v$. Pero, si se condensa entonces el calor cedido se calcula por $Q_c = -m L_v$.

Determinación del calor específico de una sustancia

Para determinar el calor específico de una sustancia se puede emplear un calorímetro con agua en su interior.

Supóngase que m_x es la masa de la sustancia de la cual se quiere conocer su calor específico c_x y T_{0x} es su temperatura inicial. Similarmente sean m_a , c_a y T_{0a} los correspondientes valores para el agua.

Si T_f es la temperatura final de equilibrio después de que se mezcla todo en el interior del calorímetro, se encuentra que el calor ganado por el agua es:

$$Q = m_a c_a (T_f - T_{0a})$$

El calor cedido por la sustancia, la cual se consideró tenía una temperatura inicial mayor que la del agua, se obtiene de:

$$Q = -m_x c_x (T_f - T_{0x})$$

como en el interior del calorímetro se cumple que el calor ganado por una de las sustancias es igual al cedido por la otra se tiene que:

$$m_a c_a (T_f - T_{0a}) = -m_x c_x (T_f - T_{0x})$$

Despejando c_x se obtiene:

$$c_x = \frac{m_a c_a (T_f - T_{0a})}{m_x (T_{0x} - T_f)}$$

Este método para obtener c_x es conocido como el *método de las mezclas*.

Ejemplo:

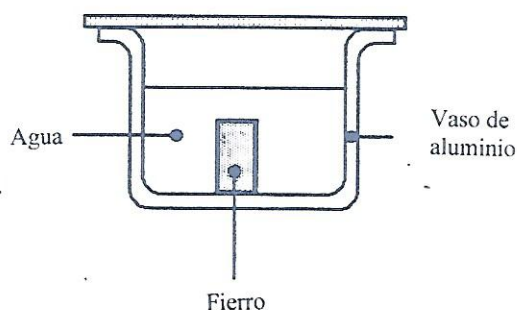
Un calorímetro de aluminio con una masa de 100 g contiene 250 g de agua. Están en equilibrio térmico a 10°C . Se coloca un bloque de 300 g de hierro a una temperatura de 100°C . ¿A qué temperatura se logra el equilibrio térmico en el calorímetro? El calor específico del hierro es $448 \text{ J/Kg}^\circ \text{C}$.

Solución:

Datos

- $m_{Al} = 100 \text{ g} = 0.10 \text{ kg}$.
- $m_a = 250 \text{ g} = 0.25 \text{ kg}$.
- $m_x = 300 \text{ g} = 0.30 \text{ kg}$.
- $c_{Al} = 900 \text{ J/Kg}^\circ \text{C}$ (Obtenido en tabla respectiva).
- $c_a = 4186 \text{ J/Kg}^\circ \text{C}$ (Obtenido en tabla respectiva).
- $c_{Fe} = 448 \text{ J/Kg}^\circ \text{C}$.
- $T_{0Al} = T_{0a} = T_0 = 10^\circ \text{C}$.
- $T_{0x} = 100^\circ \text{C}$.
- $T_f = ?$

Esquema



Fórmula

Aplicando la ley de conservación de la energía:

$$(\text{Energía ganada por agua}) + (\text{Energía ganada por calorímetro}) = (\text{Energía perdida por el Fe})$$

Es decir:

$$m_a c_a (T_f - T_0) + m_{Al} c_{Al} (T_f - T_0) = -m_{Fe} c_{Fe} (T_f - T_{0x})$$

Sustitución.

$$0.25 (4186) (T_f - 10) + 0.1 (900) (T_f - 10) = 0.3 (488) (100 - T_f)$$

$$1046.5 T_f - 10465 + 90 T_f - 900 = 13440 - 134.4 T_f$$

$$046.5 T_f + 90 T_f + 134.4 T_f = 13440 + 10465 + 900$$

$$T_f = \frac{24805}{1270.9}$$

Resultado

$$T_f = 19.5^\circ \text{C}$$

Transferencia de calor

La energía se encuentra en torno a nosotros y se manifiesta de diferentes formas. Una de estas formas es el **calor**. El cocimiento de los alimentos, la calefacción doméstica, la siderurgia, la cerámica y muchos otros procesos industriales requieren del empleo de este tipo de energía.

Por otra parte, se está demandando un uso más racional y eficiente de toda la energía incluyendo el calor. En este sentido, es importante saber con qué rapidez se transfiere el calor entre un objeto y sus alrededores y conocer los mecanismos responsables de esta transferencia. Existen tres mecanismos de transferencia de calor: *conducción*, *convección* y *radiación*.

Conducción. El proceso de transferencia del calor que aparece en los sólidos metálicos cuando se calienta una parte de éstos es la conducción. En este proceso, la transferencia de calor se puede imaginar a escala atómica como un intercambio de energía cinética entre las moléculas, en donde las menos energéticas ganan energía al chocar con las más energéticas. Esto sucede porque los átomos o moléculas del extremo calentado por un cuerpo a mayor temperatura, adquieren una mayor energía de agitación. Parte de esta energía se transfiere a las moléculas de la región más próxima a dicho extremo y entonces la temperatura de esta región también aumenta. Ese proceso continua a lo largo del material elevando la temperatura de cada una de sus partes.

En los metales, el transporte de calor es facilitado por los electrones libres que se mueven a lo largo del mismo. La transmisión de calor continuará mientras exista una diferencia de temperaturas entre ambos extremos del material.

Experimentalmente se ha encontrado que en la conducción del calor para diversos materiales, de diferentes longitudes y secciones transversales se cumple lo siguiente:

1. La rapidez del flujo de calor (Q/t) es directamente proporcional al área de la sección transversal A , del material.
2. La rapidez del flujo de calor es directamente proporcional a la diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ entre los extremos del material, donde T_2 y T_1 son las temperaturas de los extremos exteriores del material.
3. La rapidez del flujo de calor es inversamente proporcional a la longitud L del material (figura 5.26.).

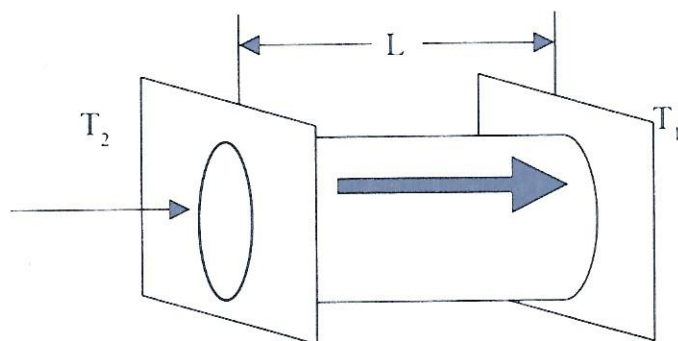


Figura 5.26. Conducción de calor a través de una barra conductora aislada.

4. La rapidez del flujo de calor depende del material. La propiedad del material asociada con esta rapidez del flujo es la **conductividad térmica k** .

Estos resultados expresados en forma matemática dan la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{t} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

Esta ecuación también se puede expresar por la ecuación (a) al definir la **corriente de calor H** como el calor que pasa a través de una sección transversal en la unidad de tiempo como:

$$H = \frac{Q}{t}$$

En el S. I. la corriente de calor (H) se expresa en watts (W).

Por tanto, la rapidez del flujo de calor o corriente de calor se puede expresar como:

$$H = k A \frac{\Delta T}{L} \quad \dots (a)$$

Al cociente $\Delta T / L$ se le conoce con el nombre de **gradiente térmico** o **de temperatura** y representa el cambio de temperatura por unidad de longitud. El gradiente térmico se puede expresar en $^{\circ}\text{K/m}$, $^{\circ}\text{C/m}$, etcétera.

Por otra parte, la *constante k* (conductividad térmica) es característica de cada material y es una medida de la capacidad para conducir calor. Un material con un valor grande de k es buen conductor del calor; uno con un valor pequeño de k es mal conductor, o buen aislante. En el SI la conductividad térmica se expresa en $\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$. Un buen conductor térmico como el cobre tiene una conductividad térmica de $397 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ y un aislante térmico como el asbesto tiene un valor de $k = 0.08 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$. En la tabla 5.4., se presentan algunos valores representativos de la conductividad térmica.

Tabla 5.4. Conductividades térmicas.

Material	Conductividad ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
Cobre	397
Oro	314
Aluminio	238
Plomo	34.7
Vidrio	0.80
Helio	0.138
Madera	0.08
Aire	0.023

Actualmente, se pretende el ahorro de energía, razón por la cual se debe conocer en los materiales la resistencia térmica que describe sus propiedades aislantes.

La **resistividad térmica** es el recíproco de la conductividad térmica.

$$\rho = \frac{1}{k}$$

La resistencia térmica se expresa en términos de valores de R el cual está definido por:

$$R = \rho L = \frac{L}{k}$$

La utilidad del conocimiento del valor de R es el poder determinar cómo va a ser la conducción de calor a través de los materiales compuestos que constituyen las placas de los suelos o las paredes. En ciertas condiciones el valor efectivo o total de R es simplemente la suma

de los valores R de las capas que constituyen el material compuesto. En la industria de la construcción el valor de R se expresa en:

$$\frac{(pie)^2 \text{ } ^\circ F \cdot h}{Btu}$$

El valor de R se determina para un cierto espesor del material. Por ejemplo, un espesor de una pulgada de fibra de vidrio tiene un $R = 3$ en el sistema inglés, mientras que una pulgada de madera tiene una $R = 1$, y por tanto, la fibra de vidrio es tres veces mejor aislante que la madera. Para las superficies verticales se debe tomar en cuenta la capa delgada de estancamiento de aire para determinar el valor total de R para una pared.

Uno de los aislantes más importantes es el aire. El aislamiento de las casas y el de las ropas de abrigo utilizan esta característica. Las ventanas de doble vidrio usan el aire atrapado entre los dos cristales para reducir las pérdidas de calor por conducción. Los tejidos del cuerpo humano también son buenos aislantes.

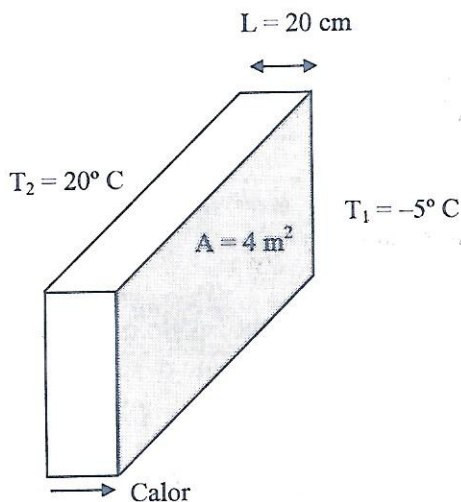
Ejemplo:

La pared de un congelador está constituida por una placa de espuma de poliuretano de 20 cm de espesor y un área de 4 m². Si la temperatura interna del congelador es -5° C y de 20° C la externa. Calcula la rapidez del flujo de calor. La conductividad de la espuma de poliuretano es 0.024 W/m · K.

Solución:

Datos

$A = 4 \text{ m}^2$
 $L = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$
 $k = 0.024 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
 $T_2 = 20^\circ \text{ C}$
 $T_1 = -5^\circ \text{ C}$
 $H = ?$



Lo primero que se hace es convertir las temperaturas a grados Kelvin.

Fórmula

$$T_k = T_c + 273^\circ$$

Sustitución

Para T_1
 $T_{1k} = -5 + 273$
 Para T_2
 $T_{2k} = 20 + 273$

Resultados

$$\begin{aligned} T_1 &= 268 \text{ K} \\ T_2 &= 293 \text{ K} \end{aligned}$$

Enseguida se calcula la corriente de calor o rapidez del flujo de calor (H).

Fórmula	Sustitución	Resultado
$H = k A \frac{\Delta T}{L}$	$H = \frac{0.024 (4) (293 - 268)}{0.2}$	$H = 12 \text{ W}$

Convección. Aunque en los líquidos y los gases una parte del calor se transmite por conducción, una cantidad de calor mucho mayor se transporta por el mismo movimiento del propio fluido. Ese fenómeno se denomina convección.

La transferencia del calor por convección ocurre cuando un fluido tal como el aire o el agua, está en contacto con un objeto a mayor temperatura que la del fluido con que está en contacto. En la mayoría de los casos el fluido en contacto con el objeto caliente se dilata. Por ser menos denso que el fluido circundante se eleva y el fluido frío circundante cae para tomar el lugar del fluido que se eleva y que está más caliente. Se establece así una circulación por convección, conocida como **convección libre** o **natural** (figura 5.27). Si el movimiento del fluido se provoca por un ventilador o bomba, el proceso recibe el nombre de **convección forzada**.

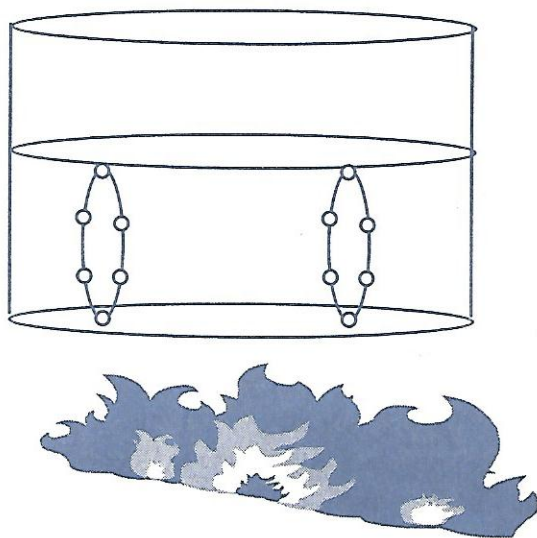


Figura 5.27. Trayectorias de las moléculas en un líquido expuesto a la flama.

Existen muchas dificultades para desarrollar una ecuación que describa de manera general y precisa la convección, ya que el calor ganado o perdido por una superficie a determinada temperatura en contacto con un fluido a otra temperatura distinta, depende de muchos factores, tales como la forma y orientación de las superficies, las propiedades térmicas y mecánicas del fluido y la naturaleza del flujo del fluido.

En la naturaleza las corrientes de convección son bastante perceptibles y dan origen al viento. A lo largo de la costa marítima el aire frío viene desde el océano como brisa marina,

debido a la convección. Los rayos del Sol son absorbidos de manera más fácil por la tierra que por el agua; el aire caliente se eleva sobre el suelo, mientras que el aire frío viene a tomar su lugar desde el océano. Durante la noche ocurre lo contrario.

Radiación. El tercer mecanismo de transferencia del calor es la radiación. Todos los cuerpos irradian energía en la forma de ondas electromagnéticas a causa de su temperatura. Parte de esta energía puede ser visible si el objeto está a temperatura suficientemente elevada. *La radiación se refiere a la emisión de energía desde la superficie de los cuerpos.*

Mediciones experimentales demuestran que la rapidez con la cual se irradia calor desde una superficie varía directamente con:

1. La cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo radiante.
2. El área de la superficie del cuerpo radiante.
3. Las propiedades de emisión de la superficie particular dadas por la *emisividad* o *poder emisivo* (e).

Estos resultados se resumen en la siguiente expresión de la potencia radiada P que se denomina **ley de Stefan-Boltzmann**.

$$P = e \sigma A T^4$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann y tiene un valor de $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$, que es igual para cualquier objeto y la emisividad e tiene valores de 0 a 1 dependiendo de la naturaleza de la superficie radiante. La emisividad es una propiedad adimensional. Al aplicar la ecuación anterior, el área A se debe expresar en m^2 y la temperatura T en grados Kelvin.

Del mismo modo que las superficies de los cuerpos emiten radiación, también la absorben. Considerando un cuerpo a una temperatura T_2 rodeado por otro a una temperatura T_1 (figura 5.28). Experimentalmente se demuestra que las temperaturas acaban siendo iguales. Ocurrido esto, las superficies de ambos cuerpos deben absorber y emitir energía con la misma rapidez a dicha temperatura para que se mantenga el equilibrio térmico. Este fenómeno se conoce como la **ley de Prevost** de intercambio de calor.

De acuerdo con esto último, la superficie del cuerpo encerrado a temperatura T debe emitir y absorber radiación con la misma rapidez. De este modo una buena superficie absorbente es también una buena superficie emisora ($e \approx 1$).

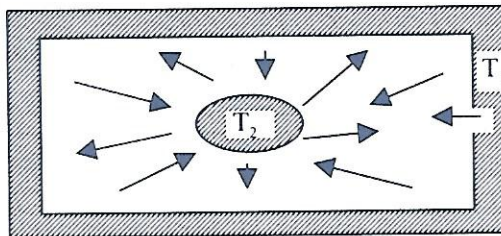


Figura 5.28. El cuerpo a mayor temperatura emite energía con mayor rapidez que la que absorbe de sus alrededores.

Si el cuerpo rodeado por otro se mantiene de alguna manera a una temperatura superior ($T_2 > T_1$), entonces la rapidez con que el objeto emite energía es superior a la rapidez con que la absorbe y la rapidez neta de transferencia de calor (o corriente de calor) H está dada por:

$$H = e \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

La corriente de calor es mayor a altas temperaturas y para diferencias de temperatura grandes.

La Tierra y su atmósfera ganan energía cuando absorben energía radiante proveniente del Sol. Esto provoca que la Tierra se caliente. La Tierra, a su vez, emite lo que se conoce como radiación terrestre, gran parte de la cual escapa al espacio exterior. La temperatura de la Tierra aumenta cuando aumenta la cantidad de energía radiante que incide sobre ella; o bien cuando disminuye la cantidad de energía terrestre que escapa al espacio.

La energía radiada por el Sol, día a día, afecta nuestra existencia de diferentes formas. Influye en la temperatura promedio de la Tierra, en las corrientes oceánicas y en la agricultura, entre otras.

Ejemplo:

Una esfera de cobre de 4 cm de radio se calienta en un horno hasta que adquiere una temperatura de 500°C . Si su emisividad es 0.3, ¿a qué tasa radia energía dicha esfera?

Solución:

Datos

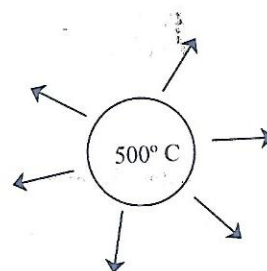
$$r = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

$$T = 500^\circ\text{C}$$

$$e = 0.3$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$$P = ?$$



Primeramente se determina el área de la esfera.

$$A = 4\pi r^2$$

$$A = 4 (3.1416) (0.04)^2$$

$$A = 0.02 \text{ m}^2$$

Enseguida se convierte la temperatura a grados Kelvin.

$$T = T_c + 273$$

$$T = 500 + 273$$

$$T = 773^\circ\text{K}$$

Finalmente se calcula la tasa de emisión de la radiación de la esfera.

Fórmula

Sustitución

Resultado

$$P = e \sigma A T^4$$

$$P = 0.3 (5.67 \times 10^{-8}) (0.02)(773)^4$$

$$P = 121.46 \text{ W}$$

Aplicaciones de calor

La comprensión de lo que es el calor, de los mecanismos de transferencia del calor y de las propiedades térmicas, no tan sólo nos ha permitido la comprensión de una gran cantidad de fenómenos que ocurren en la naturaleza, sino de aplicar dichos conocimientos en beneficio del hombre. A continuación se describen algunas aplicaciones.

El calor y el frío han sido utilizados para propósitos médicos durante siglos. La *termografía* es la parte de la medicina que se encarga de hacer un registro gráfico de la temperatura del cuerpo humano, que puede usarse en el diagnóstico de las enfermedades y la terapia del enfermo; mientras que la *criogenia* y la *criocirugía* son términos referidos a los usos del frío, en la curación y el tratamiento de los pacientes.

Al mapa de la temperatura corporal se le conoce como *termograma* y se usa, sobre todo, en el diagnóstico del cáncer, ya que éste se caracteriza porque sus células se encuentran a temperaturas relativamente mayores que las restantes; por ejemplo, la temperatura de la piel, sobre un tumor que puede ser interno, es de 1°C arriba del promedio.

Para conservar durante más tiempo la temperatura de las comidas, se cocina en cazuelas de barro, ya que el barro es mal conductor del calor. Es decir, una vez que deja de estar bajo fuego, tarda más tiempo que una olla metálica en disminuir su temperatura y mantiene así la comida caliente durante más tiempo.

Al usar prendas de vestir holgadas y no ajustadas al cuerpo, se permite la interposición de una capa de aire, que es mala conductora del calor, haciéndolas más abrigadoras.

En las regiones de baja temperatura, se utilizan materiales con baja conductividad térmica (aislantes) en la construcción de casas para reducir las pérdidas de calor, en todo lo posible, no tan sólo para reducir los gastos por el consumo de combustible, sino para ahorrar los limitados recursos de energía.

LEYES DE LA TERMODINÁMICA

La termodinámica es la rama de la física que se ocupa del estudio de la transmisión del calor y de los cambios de energía que éste produce. Su formulación se basa en las llamadas **leyes de la termodinámica**. El desarrollo formal de esta ciencia empezó hace menos de 200 años, debido principalmente al intento de idear máquinas térmicas más eficientes para convertir la energía calorífica en trabajo mecánico como el motor diesel y el motor de gasolina.

Las leyes de la termodinámica son indispensables para explicar el funcionamiento y diseño de las máquinas térmicas y bombas de calor.

Una *bomba de calor* es un dispositivo que emplea la energía o trabajo mecánico para transferir calor de una fuente con temperatura inferior a una región más elevada. Esto es precisamente lo que hacen los acondicionadores de aire y los refrigeradores.

En esta sección de la unidad estudiaremos las leyes de la termodinámica y las máquinas térmicas.

Conceptos básicos de la termodinámica

Algunos de los conceptos básicos ya han sido definidos en las secciones anteriores, sin embargo en esta sección completaremos la definición de algunos y definiremos los que faltan.

En la termodinámica como en cualquier otra rama de la física, se aísla la porción del universo que nos interesa y será objeto de nuestro estudio. A esta porción del universo la llamamos **sistema termodinámico** o simplemente **sistema**. Es claro que ya sea que se trate de un trozo de metal, de un líquido en un recipiente, o del aire en una habitación, en todos los casos la selección del sistema la hace el observador.

Esa porción de materia bien definida puede considerarse limitada por una superficie cerrada real o imaginaria llamada **pared** o **frontera**. La región no incluida en el sistema constituye el exterior o alrededores del sistema o vecindad. Si el sistema no intercambia energía con el exterior, se llama **sistema aislado**.

El **equilibrio termodinámico** o **estado de un sistema**, está determinado por los valores de la presión, volumen, temperatura y cantidad de sustancia que un sistema puede tener, cuando esté en equilibrio mecánico, térmico o químico.

Estas propiedades se llaman **variables termodinámicas**, las cuales definen un estado del sistema, o para ser más precisos un estado de equilibrio del sistema, cuando no cambian con el tiempo, es decir, cuando permanecen constantes.

Cuando un sistema es afectado por sus alrededores y la interacción tiene como consecuencia un cambio en el estado del sistema, diremos que se ha efectuado un **proceso** o **transformación**.

Energía interna

Un sistema puede efectuar o recibir trabajo y también puede entregar calor o recibir calor del exterior; en consecuencia, trabajo y calor son los medios de transferir la energía. Un sistema está caracterizado también por su **energía interna** (U).

La energía interna de un sistema o cuerpo representa la suma de las diversas formas de energía (energía cinética más energía potencial) que poseen las moléculas y los átomos de dicho cuerpo o sistema.

Como resultado de la interacción del sistema con sus alrededores un sistema puede pasar de un estado inicial a otro final, con lo que su energía interna puede sufrir variaciones y pasar de un valor inicial U_i a otro final U_f de manera que la energía interna tendría una variación $\Delta U = U_f - U_i$.

Como se mencionó, tanto el trabajo como el calor pueden hacer variar la energía interna de un sistema, por tanto, es conveniente tomar en cuenta las siguientes convenciones de signos:

- El trabajo (T o W) hecho por el sistema se considera positivo, mientras que el trabajo hecho sobre el sistema es negativo.
- El calor (Q) que recibe el sistema se considerará positivo, mientras que el calor entregado por el sistema es negativo.

Primera ley de la termodinámica

La *primera ley o principio de la termodinámica* es una ley de conservación de la energía. Afirma que, como *la energía no puede crearse ni destruirse*, la cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor más la cantidad de energía transferida en forma de trabajo sobre el sistema debe ser igual al aumento de la energía interna del sistema. El calor y el trabajo son mecanismos por los que los sistemas intercambian energía entre sí.

En términos matemáticos, esta ley se expresa por la siguiente ecuación:

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

Esta ecuación expresa el hecho general de que, cuando una cantidad de calor ΔQ se agrega a un sistema o se extrae de él, hay un cambio en la energía interna ΔU en el sistema y se realiza trabajo sobre él. (Figura 5.29).

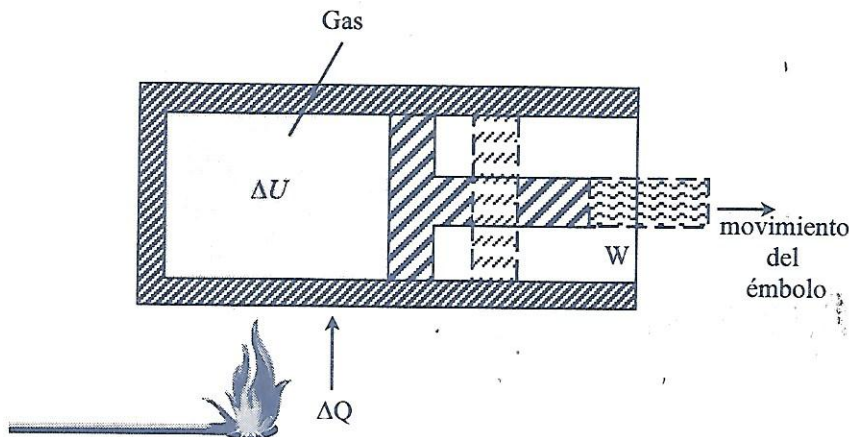


Figura 5.29. El calor proporcionado al gas encerrado provoca un cambio en su energía interna y el desplazamiento del émbolo o pistón.

Es importante señalar que las variables de la ecuación deben expresarse en las mismas unidades y que un sistema aislado en el cual no hay intercambio de energía con el exterior, es decir $\Delta Q = 0$ y $W = 0$, la energía interna es constante de acuerdo con la ecuación $\Delta Q = \Delta U + W$.

Este hecho se puede enunciar de la siguiente manera; *la energía interna de un sistema aislado no puede modificarse por ningún proceso interno del sistema.*

Ejemplo:

Al ser calentado un sistema, éste absorbe 200 J y realiza como resultado de este calor absorbido un trabajo de 100 J. Determina la variación de energía interna del sistema.

Solución:

Datos.

$$\Delta Q = 200 \text{ J}$$

$$W = 100 \text{ J}$$

$$\Delta U = ?$$

Aplicando la primera ley de la termodinámica.

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

Es decir:

$$200 = \Delta U + 100$$

Por lo tanto:

$$\Delta U = 100 \text{ J. (Aumentó la energía interna).}$$

En cualquier máquina, hace falta cierta cantidad de energía para producir trabajo; *es imposible que una máquina realice trabajo sin necesidad de energía*. Una máquina hipotética de estas características se denomina móvil perpetuo de primera especie. La ley de conservación de la energía descarta que se pueda inventar nunca una máquina así. A veces, el primer principio se enuncia como la imposibilidad de la existencia de un móvil perpetuo de primera especie.

Procesos termodinámicos

En esta sección estudiaremos algunas situaciones particulares en donde se aplica la primera ley de la termodinámica para obtener información acerca de la energía interna de un sistema. El sistema que consideraremos será un gas encerrado en un recipiente con un émbolo móvil como el de la figura 5.29.

Proceso cíclico

Es cuando un sistema después de una serie de procesos, vuelve a su estado inicial. Aplicando la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

$$\text{Si } U_i = U_f \Rightarrow \Delta U = 0$$

entonces

$$\Delta Q = W$$

Es decir, el calor recibido por el sistema se ha transformado en trabajo, o viceversa.

Proceso adiabático

Es cuando un sistema no gana ni pierde calor, es decir cuando $\Delta Q = 0$. Este proceso ocurre cuando el sistema está rodeado de una pared adiabática (aislante térmico). Aplicando la primera ley de la termodinámica.

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

Si

$$\Delta Q = 0$$

entonces

$$\Delta U = -W$$

Es decir, el trabajo realizado sobre el sistema se convierte en energía interna, o inversamente, si el sistema realiza trabajo, la energía interna disminuye. Cuando aumenta la energía interna del sistema su temperatura también aumenta, pero, si la energía interna disminuye, la temperatura del sistema disminuye. (Figura 5.30).

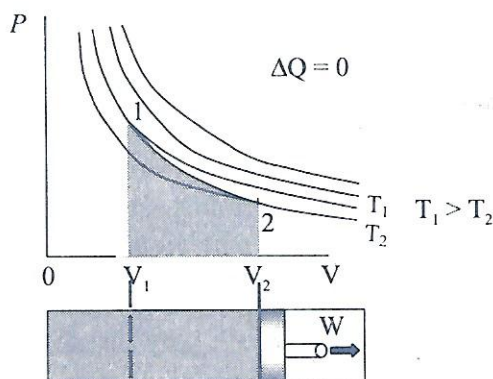


Figura 5.30. Proceso adiabático. Hay que hacer trabajo a expensas de la energía interna.

Proceso isocoro o isovolumétrico

Es un proceso a volumen constante, es decir, que el trabajo en este proceso es cero ($W=0$). Aplicando la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

Si

$$W = 0$$

entonces

$$\Delta Q = \Delta U$$

Es decir, que en este proceso, el calor suministrado al sistema se emplea en el aumento de su energía interna. En la figura 5.31., se ilustra la gráfica característica de un proceso isovolumétrico.

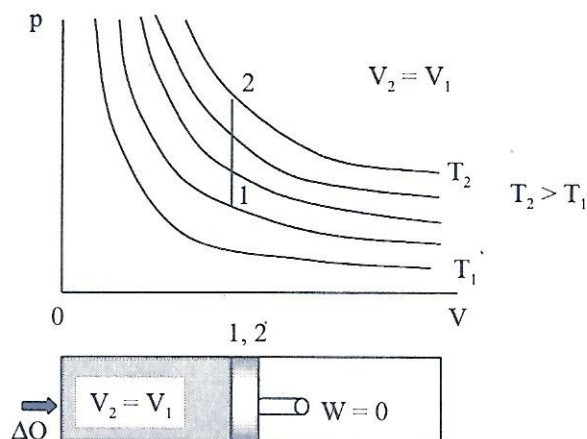


Figura 5.31. Proceso isovolumétrico. En este proceso la temperatura aumenta al proporcionarle calor al sistema.

Proceso isobárico

Es un proceso en el que la presión permanece constante. Para determinar la manera en que esta condición afecta al sistema, determinaremos la relación entre la presión y el trabajo. Para esto, consideremos el trabajo efectuado por el gas contenido en un cilindro que se expande empujando el pistón desde a hasta b . (Figura 5.32.).

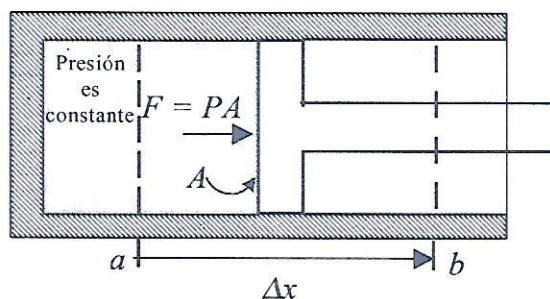


Figura 5.32. El gas realiza un trabajo al hacer que el émbolo pase de a a b .

La fuerza que hace el gas sobre el émbolo o pistón es $F = PA$, donde P es la presión del gas y A es el área del pistón.

El trabajo hecho por el gas para un desplazamiento Δd es:

$$W = F\Delta d$$

Esta ecuación se transforma en:

$$W = P\Delta V = P(V_f - V_i)$$

ya que

$$F = PA \text{ y } \Delta V = A\Delta d$$

donde:

$$\Delta V = V_f - V_i$$

V_f = volumen final.

V_i = volumen inicial.

Aplicando la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta Q = \Delta U + W = \Delta U + P\Delta V$$

Es decir, la energía calorífica que se agrega al sistema es igual al incremento de la energía interna del sistema más el trabajo hecho por él. En la figura 5.33., se muestra la gráfica característica de este proceso.

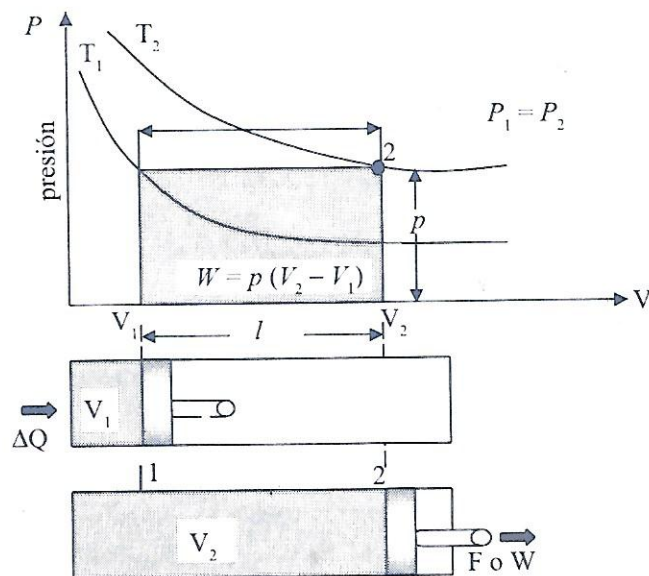


Figura 5.33. Proceso isobárico. La temperatura y la energía interna aumentan durante el proceso.

Proceso isotérmico

Es un proceso a temperatura constante. Para el caso de que el sistema sea un gas ideal, la energía interna permanece constante al ser la temperatura constante. Así, al aplicar la primera ley de la termodinámica, el calor agregado es igual al trabajo hecho por el sistema, es decir:

$$\Delta Q = W$$

En la figura 5.34., se muestra la gráfica característica del proceso isotérmico.

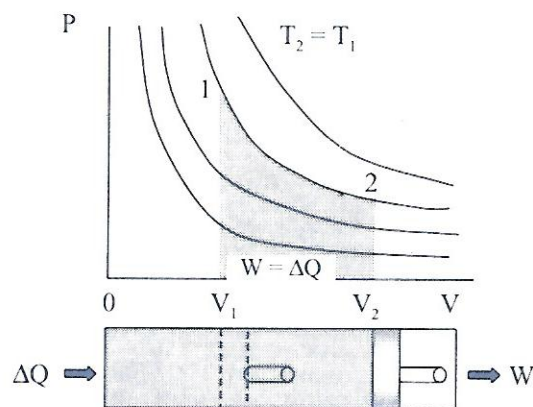


Figura 5.34. Proceso isotérmico. El trabajo realizado por el gas es igual al calor recibido por dicho gas.

Segunda ley de la termodinámica

La segunda ley de la termodinámica afirma, por su parte, que *el calor no puede pasar de un cuerpo frío a otro caliente sin aportación externa de energía*. Esto implica que en todos los procesos en los que se haga circular calor, éste debe pasar de un cuerpo caliente a otro que esté más frío que él. Éste es el principio que rige el funcionamiento de todos los tipos de motores que se basan en la obtención de energía a partir de un combustible, cuya combustión produce aumento de energía interna y trabajo realizado contra el medio. En este tipo de procesos, cuanto más alta es la temperatura inicial tanto mayor es la cantidad de energía que puede transformarse en trabajo, que a efectos prácticos está limitada por la temperatura a la que se produce la combustión del gas inyectado en el motor y la de los gases que salen por el tubo de escape.

Esta ley puede enunciarse de varias formas, todas ellas equivalentes entre sí, mencionaremos aquí tres de estos posibles enunciados, de los cuales, el primero es debido a Clausius por una parte y el segundo a Kelvin-Planck por otra.

El físico alemán Rodolfo Clausius se basó en los trabajos de Sadi Carnot para enunciar el segundo principio o segunda ley de la termodinámica, en la forma que ahora lleva su nombre:

Clausius: *Es imposible construir un dispositivo que operando en un ciclo, tenga como único efecto extraer calor de un cuerpo y transferirlo a un cuerpo caliente.* (Figura 5.34 a).

Casi simultáneamente Lord Kelvin y Max Planck enunciaron el mismo principio en forma equivalente:

Kelvin-Planck: *Es imposible construir una máquina que, operando en ciclo tenga como único efecto extraer calor de un cuerpo caliente y convertirlo íntegramente en trabajo.* (Figura 5.35 b).

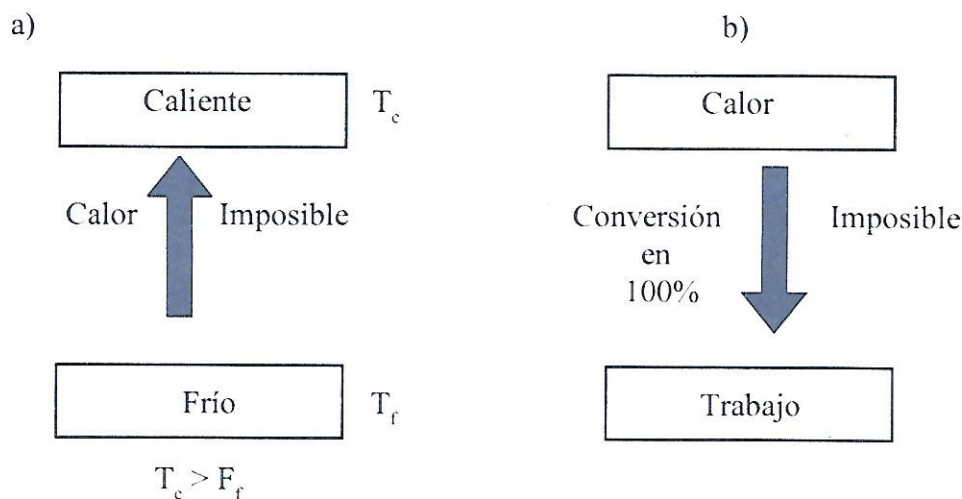


Figura 5.35. Segunda ley de la termodinámica. Procesos prohibidos.

De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, la forma de energía que se toma en las transformaciones se deteriora a menos útiles. Por ejemplo, la energía organizada en la forma de electricidad se convierte en iluminación y energía calorífica en casas y oficinas. Este hecho, permite enunciar la segunda ley de la termodinámica como sigue:

Los sistemas naturales tienden a un estado mayor de desorden.

Entropía

Entre los conceptos más importantes de la termodinámica destaca el de la **entropía**, que puede definirse como una medida del desorden. De este modo, si por ejemplo todas las moléculas de aire contenidas en una habitación se encontrasen inicialmente en una esquina, se repartirían uniformemente, siendo prácticamente imposible que se verifique el proceso contrario, es decir, que las moléculas de la habitación se concentren por sí solas en una de sus esquinas. Esto significa que la entropía nunca disminuye durante los cambios de estado del sistema. Asimismo, cuanto mayor es el desorden tanto mayor es la entropía del sistema, es decir, la entropía de un sólido cristalino es menor que la de dicha sustancia fundida, ya

que en dicho estado las moléculas no están situadas en posiciones fijas de la red cristalina, sino que se mueven con un grado mayor de libertad, siendo mayor el desorden.

Tercera ley de la termodinámica

La tercera ley de la termodinámica establece:

Es imposible alcanzar una temperatura de cero absoluto.

Éste es un enunciado resultado de la evidencia experimental, ya que hasta la fecha no se ha podido alcanzar el cero absoluto experimentalmente. Es posible acercarse indefinidamente al cero absoluto, pero nunca se puede llegar a él.

Máquinas térmicas

La termodinámica, desarrollada a partir del estudio de las máquinas térmicas, es importante desde el punto de su aplicación. Muchas de sus aplicaciones prácticas, en esta parte de la física (máquinas térmicas) fueron desarrolladas empíricamente antes de tener un conocimiento teórico de su funcionamiento.

La primera máquina térmica de que se tiene evidencia fue diseñada en la antigüedad por el ingeniero y matemático griego Herón de la Alejandría (siglo I). Esta máquina recibió el nombre de *eolípila* y consistía en un globo hueco soportado por un pivote, de manera que podía girar alrededor de un par de muñones uno de ellos hueco. Al ser expelido el vapor, el globo reaccionaba a esta fuerza y giraba alrededor de su eje.



Figura 5.36. La eolípila de Herón de Alejandría.

La primera máquina de vapor construida y vendida en gran cantidad fue la diseñada por Thomas Newcomen y Thomas Savery en 1712 en Inglaterra, sin embargo el que merece la mayor parte del crédito es James Watt, quien comenzó a construirla por el año de 1783, al hacer de la máquina de vapor práctica y un auténtico motor, capaz de mover las máquinas de la naciente industria, por esta razón se le consideró como el verdadero instrumento de la Revolución Industrial. (Figura 5.37.).

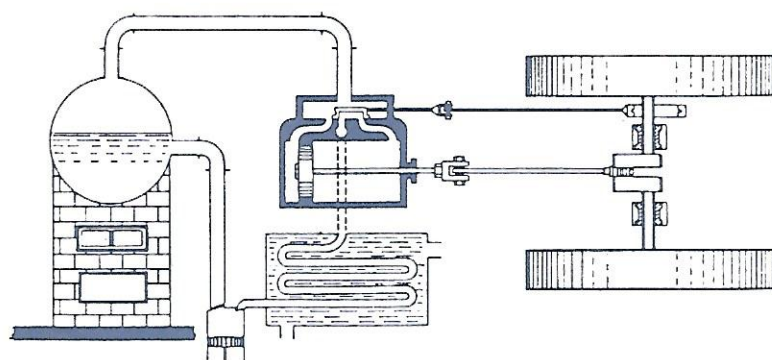


Figura 5.37. Máquina de vapor de Watt. La biela convirtió el movimiento alternativo del émbolo en movimiento rotatorio de un eje y un volante. El vapor al entrar en el primer orificio desplaza al émbolo hacia atrás este movimiento hace que se cierre este primer orificio de manera que en segundo orificio entre vapor, obligando a que el émbolo se desplace hacia adelante. Este proceso se repite.

Se llama *máquina térmica* a un dispositivo que convierte energía térmica en trabajo.

La operación de una máquina térmica se describe mejor por medio de un diagrama similar al que se muestra en la figura 5.38. Ocurren tres procesos durante la operación de una de estas máquinas.

1. Se suministra una cantidad de calor Q_c a la máquina desde un recipiente a alta temperatura T_c .
2. La máquina efectúa un trabajo mecánico W producido por una parte del calor de entrada.
3. Cierta cantidad de calor Q_s se libera al recipiente a baja temperatura T_s .

Ya que el sistema regresa periódicamente a su estado inicial, el cambio neto de la energía interna es cero. Aplicando la primera ley a la máquina térmica en la que ΔU es igual a cero, se obtiene que $\Delta W = \Delta Q$, o lo que es lo mismo:

Trabajo de salida = calor de entrada - calor de salida

$$W = Q_e - Q_s$$

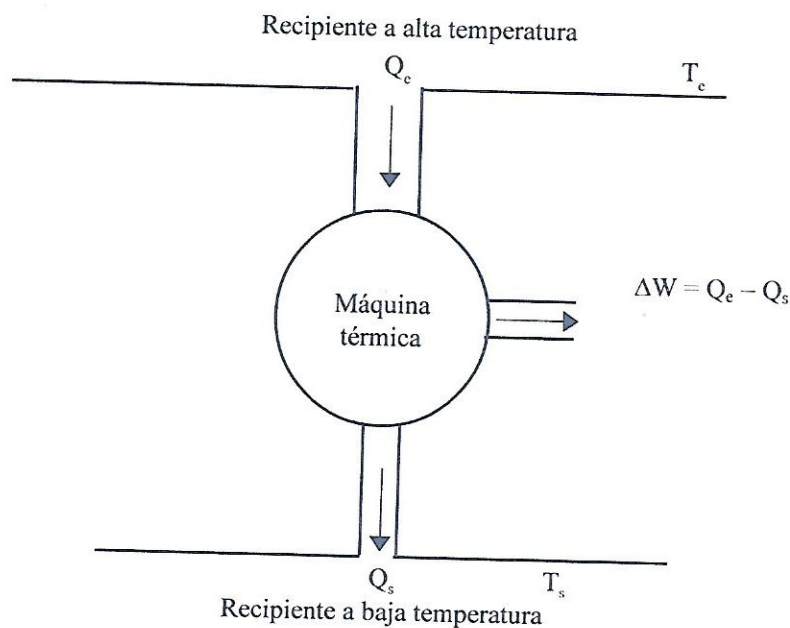


Figura 5.38. Diagrama esquemático de una máquina térmica.

Hay dos clases de máquinas térmicas muy importantes: las de combustión externa y las de combustión interna.

Máquinas de combustión externa. Son las que producen el calor afuera de la máquina, por lo general en una caldera. Con el calor producido se obtiene vapor sobrecalentado, que ejerce fuertes presiones y que se utiliza como fuente de energía mecánica para mover barcos y trenes.

Máquinas de combustión interna. Son las que producen el calor dentro de la misma máquina. Utilizan fuerza de expansión de los gases, producidos después de la combustión a presión de diferentes combustibles, como gasolina, gas, diesel o alcohol, entre otros. Los motores de automóviles, motocicletas, camiones y aviones son de combustión interna.

Eficiencia térmica

La **eficiencia térmica** (E) de una máquina térmica se define como la razón del trabajo neto realizado por la máquina; o sea, del trabajo de salida entre el calor absorbido por ésta o de entrada. Matemáticamente lo anterior se expresa con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{W}{Q_e}$$

$$\text{eficiencia} = \frac{\text{trabajo de salida}}{\text{calor de entrada}}$$

En función de los calores de entrada y salida en una máquina térmica, la eficiencia se obtiene de la siguiente expresión matemática:

$$E = \frac{Q_e - Q_s}{Q_e}$$

$$E = \frac{Q_e - Q_s}{Q_e}$$

o sea que:

$$E = 1 - \frac{Q_s}{Q_e}$$

$$\text{eficiencia} = 1 - \frac{\text{calor de salida}}{\text{calor de entrada}}$$

Se puede pensar en la eficiencia de una máquina térmica como la razón entre el trabajo útil realizado por la máquina y el calor que se le suministra, que suele expresarse como un porcentaje; es decir:

$$\% E = \frac{W}{Q} \times 100 \%$$

Ésta es la expresión matemática que se utiliza con mayor frecuencia para determinar la eficiencia de una máquina térmica.

Por ejemplo, un motor que absorbe 1 000 calorías para realizar un trabajo de 300 calorías, tiene una eficiencia de 30% ($E = (300/1000) \times 100\%$). En este caso se está desaprovechando un 70% del calor proporcionado.

Puesto que los científicos han demostrado que cantidades de calor son proporcionales a las temperaturas absolutas, la eficiencia se puede expresar como una función de las temperaturas absolutas de las fuentes calientes y frías, es decir:

$$E = 1 - \frac{T_s}{T_e} = \frac{T_e - T_s}{T_e}$$

Conviene señalar que las temperaturas de los depósitos en este caso son temperaturas absolutas (de Kelvin), cuanto mayor sea la diferencia entre temperaturas de las dos fuentes, mayor será la eficiencia de una máquina térmica.

Una máquina térmica con una eficiencia del 100% ($E = 1$) es aquella en que todo el calor de entrada se convierte en trabajo útil y el calor de salida o desecho es cero ($Q_s = 0$). *La segunda ley de la termodinámica establece que esto es imposible; o sea que no existen las máquinas térmicas con una eficiencia del 100%.*

La *máquina de Carnot* tiene la máxima eficiencia posible para una máquina que absorbe calor de una fuente a alta temperatura, realiza trabajo externo, y deposita calor en un recipiente a baja temperatura. La eficiencia de una máquina dada puede por tanto determinarse al compararla con una máquina de Carnot que trabaje entre las mismas temperaturas.

Ejemplo:

¿Cuál es el rendimiento de una máquina de Carnot que opera entre dos fuentes cuyas temperaturas son $T_e = 500 \text{ K}$ y $T_s = 300 \text{ K}$?

Solución:

Datos

$$T_e = 500 \text{ K}$$

$$T_s = 300 \text{ K}$$

$$E = ?$$

Fórmula

$$E = 1 - \frac{T_s}{T_e}$$

Sustitución

$$E = 1 - \frac{300}{500} = 0.4$$

Resultado

$$E = 40\%$$

Motor de gasolina

El motor de gasolina de cuatro tiempos es una máquina de combustión interna. En este motor una mezcla de aire y de vapor combustible (gasolina) que proviene del carburador explota dentro de un cilindro ejerciendo una fuerte presión sobre un *pistón* que empuja un sistema *biela-cigüeñal* que transforma el movimiento de traslación alternativo del pistón en movimiento de rotación. Los gases quemados son expulsados al exterior.

En la figura 5.39 se muestra el pistón de un motor en el proceso de cuatro tiempos. Durante la *carrera de admisión* (figura 5.39 a.), entra una mezcla de aire y vapor de gasolina al cilindro a través de la válvula de admisión. Ambas válvulas se cierran durante la *carrera de compresión* (figura 5.39 b.) cuando el pistón se mueve hacia arriba, causando una elevación de la presión. Justo antes de que el pistón llegue al extremo superior, se efectúa el encendido de la mezcla, ocasionando un cambio abrupto tanto en la temperatura como en la presión. En la *carrera de trabajo* (figura 5.39 c) la fuerza de los gases en expansión impulsan al pistón hacia abajo, efectuando trabajo externo. En la *carrera de expulsión* (figura 5.39 d), se expulsan los gases quemados fuera del cilindro a través de la válvula de escape. A continuación se repite todo el ciclo nuevamente, en tanto se suministre combustible al cilindro.

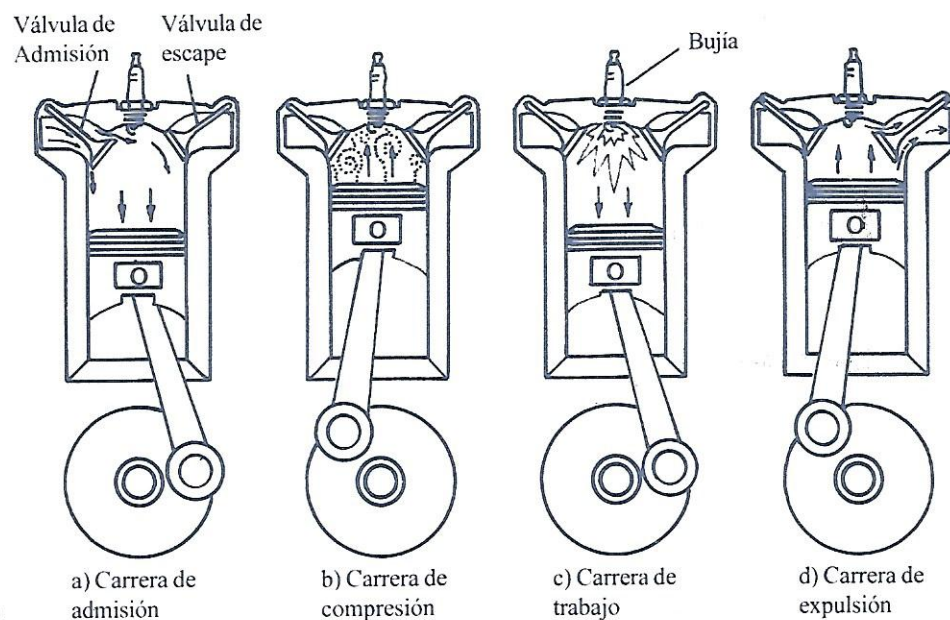


Figura 5.39. Máquina de gasolina de cuatro tiempos: a) admisión, b) compresión, c) trabajo, d) expulsión.

RESUMEN

La sensación fisiológica de calor y frío es el origen del concepto primario de temperatura. La **temperatura** de los cuerpos está relacionada directamente con la energía cinética promedio de las moléculas que los componen.

Para medir la temperatura de un cuerpo se emplea el **termómetro**.

En la elaboración de un termómetro se emplean las propiedades del cuerpo que cambian al variar la temperatura, a las que se les conoce como **propiedades termométricas**.

Las escalas más conocidas para calibrar un termómetro son las de Fahrenheit, Celsius y Kelvin.

Las equivalencias obtenidas entre las lecturas se explican mediante la siguientes fórmulas:

$$1. \quad T_c = T - 273.15 \text{ o de manera aproximada } T_c = T - 273$$

$$2. \quad T_F = \frac{9}{5} T_c + 32$$

$$3. \quad T_c = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

El termómetro se basa en la **ley cero de la termodinámica** que establece: si dos cuerpos separados están en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, estarán en equilibrio térmico entre sí.

Se dice que un cuerpo está en **equilibrio térmico** con otro, cuando ambos se encuentran a la misma temperatura.

Para que se pueda establecer el equilibrio térmico entre dos cuerpos, se requiere que exista **contacto térmico** y para que se de éste, necesitan estar separados por una **superficie diatérmica**, que permite el intercambio de calor. Si los dos cuerpos están separados por una superficie que los aísla térmicamente, ésta recibe el nombre de **superficie adiabática**.

Se denomina **dilatación térmica** al aumento de tamaño que experimentan los cuerpos cuando se incrementa su temperatura.

La dilatación puede ser **lineal**, **superficial** y **volumétrica** en los sólidos, pero en los líquidos siempre es volumétrica. Las fórmulas que se emplean para calcular los incrementos de las dimensiones de los cuerpos son:

$$\text{dilatación lineal:} \quad \Delta L = L_0 \alpha \Delta T;$$

$$\text{dilatación superficial:} \quad \Delta A = A_0 \delta (\Delta T);$$

$$\text{dilatación volumétrica:} \quad \Delta V = V_0 \beta (\Delta T).$$

El **calor** es una forma de energía que se transfiere de un cuerpo a otro, como resultado de la diferencia de temperaturas entre ellos. El calor fluye siempre del cuerpo más caliente al más frío.

Las unidades que se emplean para medir el calor son la **caloría**, el **Btu** y el **Joule**.

La relación cuantitativa entre el calor y el trabajo recibe el nombre de **equivalente mecánico del calor**.

La **capacidad calorífica** C se define como la cantidad de energía calorífica que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un cuerpo.

El **calor específico** es la capacidad calorífica de un material por unidad de masa y se obtiene de:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

El calor absorbido o cedido por un cuerpo se obtiene de $Q = mc\Delta T$.

La transmisión del calor de un lugar a otro se puede realizar por conducción, convección y radiación. En la **conducción** la energía se transmite como consecuencia de las interacciones entre moléculas, aunque no exista un transporte de las mismas.

La rapidez con la que fluye el calor por conducción a través de una placa de área A y longitud l se obtiene de:

$$H = kA \frac{\Delta T}{l}$$

La **convección** del calor se lleva a cabo en líquidos y gases, cuando ciertas partes de la propia sustancia se desplazan, llevando consigo la energía que va a transmitirse.

La **radiación** consiste en ondas electromagnéticas que un cuerpo emite en todas direcciones. Todos los cuerpos irradian y absorben energía en la forma de ondas electromagnéticas. Un cuerpo que está más caliente que sus alrededores irradia más energía de la que absorbe; mientras que un cuerpo que está más frío que sus alrededores absorbe más energía de la que irradia.

La rapidez con que irradia energía un cuerpo está dada por la **ley de Stefan-Boltzmann**

$$P = e \sigma AT^4$$

El calor **latente de fusión** L_f de una sustancia es la cantidad de calor por unidad de masa requerida para cambiar la sustancia, del estado sólido al estado líquido, a la temperatura de fusión. Se obtiene de la ecuación:

$$L_f = \frac{Q}{m}$$

La **termodinámica** es la parte de la Física que estudia todo lo relacionado con el calor y su interacción con la materia y las otras formas de la energía, como la energía mecánica.

Al descubrir que el calor es una forma de energía, se formuló la ley de conservación de la energía para incluir procesos térmicos. Esta noción trascendental es la **primera ley de la termodinámica**.

La primera ley de la termodinámica se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

La **energía interna** de un sistema o de un cuerpo es la suma de las energías cinética y potencial de los átomos o moléculas que integran dicho sistema o cuerpo.

La **segunda ley de la termodinámica** establece que: "una máquina no es capaz de transferir calor continuamente de un cuerpo a baja temperatura a otro cuerpo que se encuentra a una mayor temperatura, a menos que se le suministre otro tipo de energía".

La **entropía** es una medida del desorden de un sistema.

Los sistemas naturales tienden a un estado de mayor desorden.

La **tercera ley de la termodinámica** establece que: es imposible alcanzar el cero absoluto.

La máquina térmica es un dispositivo que convierte energía térmica en trabajo.
La eficiencia de una máquina térmica se define como la razón del trabajo neto realizado por la máquina entre el calor absorbido por ésta. Matemáticamente se puede expresar por:

$$E = 1 - \frac{Q_s}{Q_e} \quad \text{o} \quad E = 1 - \frac{T_s}{T_e}$$



1. Subraya la opción correcta en cada enunciado.

- La (Termometría / Calorimetría) es la ciencia que estudia la medición de la temperatura.
- El primer indicador de temperatura fue construido por (Galileo / Fahrenheit).
- (La temperatura / el calor) es una medida o indicación relativa de calor o frío.
- La temperatura de un cuerpo es una medida de la energía (cinética / potencial) promedio de sus moléculas.
- El (calorímetro / termómetro) es un instrumento que se emplea para medir la temperatura.
- Al aumentar la temperatura de un cuerpo se provoca que los átomos de éste es (alejen de / acerquen a) sus posiciones de equilibrio.
- El coeficiente de dilatación lineal se representa por (α / β).
- El coeficiente de dilatación lineal se mide en ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ / $^{\circ}\text{C}$).
- En un líquido, su dilatación aparente es (mayor / menor) que su dilatación real.
- El incremento de volumen de un sólido es (directamente / inversamente) proporcional a su volumen inicial.
- El cambio de fase sólida a líquida recibe el nombre de (solidificación / fusión).
- La temperatura en la cual se lleva a cabo el cambio del estado líquido al estado gaseoso recibe el nombre de temperatura de (ebullición / congelación).

- m) El cambio de fase sólida a gaseosa sin pasar por la fase líquida recibe el nombre de (vaporización / sublimación).
 n) El calor necesario para fundir una unidad de masa de una sustancia en su punto de fusión se llama calor latente de (congelación / fusión).
 o) La (convección / radiación) es el proceso por el cual el calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas.
 p) La rapidez de flujo de calor en una barra metálica es directamente proporcional a su (longitud / área).
 q) La corriente de calor H se mide en el SI en (W/J).
 r) Un cuerpo que está más caliente que sus alrededores irradia (más / menos) energía de la que absorbe.
 s) En un proceso (isobárico / isocórico) la presión permanece constante.
 t) En un proceso (isocórico / isotérmico) el volumen permanece constante.

2. Coloca en el paréntesis una V si el enunciado es correcto o una F si es falso.

- a) () La segunda ley de la termodinámica indica que es imposible alcanzar el cero absoluto.
 b) () La primera ley de la termodinámica es una ley de la conservación de la energía.
 c) () La tercera ley de la termodinámica señala que es imposible que el calor pase de un cuerpo frío a un cuerpo caliente.
 d) () La ley cero de la termodinámica establece que el calor pasa de un cuerpo caliente a uno frío.
 e) () La segunda ley de la termodinámica señala que es imposible construir una máquina cuyo único efecto sea transferir calor continuamente de un cuerpo a otro cuerpo a temperatura más alta.

3. Coloca en los espacios de cada enunciado la palabra correcta.

- a) La medida del desorden recibe el nombre de _____.
 b) Un proceso _____ es el que ocurre a temperatura constante.

- c) Un proceso _____ es el que ocurre a presión constante.
- d) Un proceso _____ es aquel en el cual no se transfiere calor entre el sistema y sus alrededores.
- e) Un proceso _____ es uno que ocurre a volumen constante.
- f) La _____ es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua de 14.5°C a 15.5°C .
- g) Un joule equivale a _____ calorías.
- h) La capacidad calorífica se mide en _____ en el SI.
- i) El calor latente se mide _____ en el SI.
- j) La unidad de la temperatura en el SI es _____.

4. Define los siguientes conceptos.

- a) Calor _____
- b) Temperatura _____
- c) Sistema _____
- d) Equilibrio térmico _____
- e) Dilatación térmica _____
- f) Convección _____
- g) Entropía _____
- h) Radiación _____
- i) Calor específico _____
- j) Energía interna. _____

5. Escribe con tus propias palabras las siguientes leyes de la termodinámica.

- a) Ley cero de la termodinámica.
- b) Primera ley de la termodinámica.
- c) Segunda ley de la termodinámica.
- d) Tercera ley de la termodinámica.
- e) Ley de Gay - Lussac.
- f) Ley de Boyle - Mariotte

g) Ley general de los gases ideales.

h) Ley de Stefan - Boltzmann.

6. Responde en forma breve las siguientes preguntas.

a) ¿Por qué el agua de una cantimplora de metal se conserva fresca si está tapada con una manta?

b) ¿Por qué el fondo de una sartén se calienta mucho más cuando se fríe aceite que cuando se calienta agua?

c) ¿Por qué en los ventanales de los países fríos se emplean vidrios dobles?

d) ¿Por qué el aire que sale de un neumático está más frío que el aire del medio ambiente?

e) ¿Es posible enfriar la cocina en un día caluroso dejando abierta la puerta del refrigerador?



Resuelve los siguientes problemas:

1. Una barra de acero se retira de un horno cuando su temperatura es de 500°C ¿Cuál es la correspondiente temperatura Fahrenheit?
2. La enfermera dice que su temperatura es de 312 grados Kelvin, ¿tiene fiebre? Justifica la respuesta.
3. El cero absoluto es -273.15°C . Determina en la escala Fahrenheit el cero absoluto.
4. Calcula el número de calorías de un cuerpo que perdió una energía de 1 000 J.
5. Un acondicionador de aire extrae 5 000 Btu de una habitación caliente, ¿cuánto equivale en joules? (1Btu = 252 cal).
6. ¿Cuál es el calor específico de un cuerpo cuya masa es de 200 g, si necesita una energía igual a 50 cal para elevar su temperatura de 10°C a 15°C ?
7. ¿Cuántas calorías de calor se requieren para elevar la temperatura de 2 kg de aluminio de 20°C a 60°C ? El calor específico del aluminio es $0.21\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

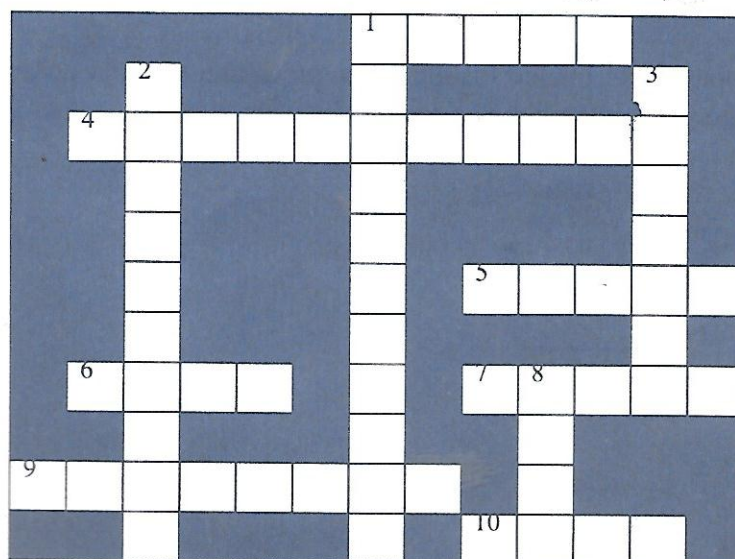
8. Cierta cantidad de plomo absorbe energía igual a 350 cal y su temperatura aumenta un total de 80°C . Calcula su masa ($C = 130 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$).
9. Una ventana con un vidrio plano tiene un área de 3 m^2 y un espesor de 0.8 cm. Si la diferencia de temperaturas entre sus caras es de 60°C , ¿cuánto calor fluye a través de la ventana en un segundo?
10. ¿Cuál es la rapidez de flujo de calor de una tabla de madera cuyas superficies tienen las siguientes dimensiones $2.4 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ y cuyo espesor es de 5 cm, si la diferencia de temperatura de las superficies opuestas es de 10°C . Para la madera, la conductividad térmica es de $0.08 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$.
11. La superficie del Sol tiene una temperatura aproximada de 5800°K . Tomando el radio del Sol igual a $6.96 \times 10^8 \text{ m}$, calcula la potencia radiada.
12. Una persona desnuda de área superficial 1.8 m^2 y temperatura cutánea de 37°C se halla en una habitación a 10°C (supóngase que $e = 1$):
 - a) ¿Cuánto calor irradia por segundo (potencia) dicha persona?
 - b) ¿Cuál es la pérdida neta de calor de dicha persona por radiación?
13. ¿Cuál es la cantidad de calor expresado en calorías para cambiar 2 kg de hielo a 0°C a agua en forma de líquido, a una temperatura de 80°C ? (El calor latente de fusión del agua expresado en calorías es $L_f = 80 \text{ cal/g}$).
14. Mil gramos de agua a la temperatura de 100°C y la presión atmosférica normal se calienta hasta convertirse en vapor a dicha temperatura. ¿Cuánto calor en calorías absorbe dicha cantidad de agua? El calor latente del vapor de agua es de 540 cal/g .
15. Una muestra cúbica de 600 g de Zinc se funde completamente a su temperatura de fusión de 420°C , cuando se le proporciona una energía de $1.4 \times 10^4 \text{ cal}$. ¿Cuánto vale su calor latente de fusión?
16. ¿Cuánto calor se requiere para fundir 11 g de hielo que se encuentra a una temperatura de 0°C para que alcance una temperatura de 30°C ? Expresa el resultado en Joules.
17. En un calorímetro se mezclan 400 g de agua a 80°C con 100 g de agua a 20°C . Calcular la temperatura de equilibrio de la mezcla. Despreciar el calor absorbido por el calorímetro.
18. En un calorímetro son sumergidos 400 g de mercurio a 60°C en 600 g de agua a 20°C . La temperatura de equilibrio es 20.8°C . Calcular el calor específico del mercurio. El calor específico del agua a 20°C es $4190 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$. Considera que el recipiente del calorímetro no absorbe calor.

19. Una esfera de metal de 50 g a una temperatura de 200°C se coloca en un calorímetro que contiene 400 g de agua inicialmente a una temperatura de 20°C . Si la temperatura de equilibrio del sistema mezclado es de 22.4°C . ¿Determine el calor específico de la esfera de metal?
20. En un vaso térmico con 100 g de leche a 10°C se le agregan 50 g de café a 90°C . ¿Cuál es la temperatura de equilibrio? Considere que tanto el café como la leche tienen el mismo valor de calor específico. Así mismo, desprecie el calor absorbido por el vaso.
21. Un calorímetro tiene un vaso de aluminio de 300 g el cual contiene 200 g de agua a 0°C , si se agregan 100 g de agua a 100°C , ¿Cuál es la temperatura de equilibrio de sistema? Considerar el calor absorbido por el vaso de aluminio.
22. Una barra de cobre tiene una longitud de 12 m a 20°C . ¿Cuánto aumentará su longitud si se coloca en agua hirviendo al nivel del mar?
23. El diámetro de una placa de acero es de 9 cm cuando la temperatura es de 20°C . ¿Cuál será el diámetro del agujero?
24. Una placa rectangular de aluminio mide $6\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ a 24°C . ¿Cuál es su área a 0°C ?
25. Un cilindro de latón con un radio de 3 cm y una altura de 150 mm a 20°C se calienta hasta llegar a 300°C . ¿Cuál es el volumen del cilindro a esta temperatura?
26. Un cubo de acero pasa por un cambio de temperatura de 220°C . ¿Cuál es el incremento porcentual del volumen del cubo?
27. La presión ejercida sobre 50 cm^3 de un gas se reduce de 1.4 atm hasta 0.6 atm. ¿Cuál es el nuevo volumen del gas si la temperatura permanece constante?
28. Un metro cúbico de un gas, a presión y temperatura normal (0°C) se enfría a 95 K, sin variar su presión. ¿Qué volumen ocupará el gas?
29. Un volumen de 10 m^3 de nitrógeno a 42.0 K está bajo una presión de $6 \times 10^2\text{ K Pa}$. La presión se aumenta a 900 K Pa, mientras que el volumen permanece constante. ¿Cuál es la temperatura del nitrógeno?
30. Imagínate que un buzo que se encuentra a una profundidad de 10.2 m bajo la superficie de una laguna de agua dulce, llena sus pulmones a una capacidad de 5 litros. Si el buzo subiera súbitamente a la superficie, ¿a qué volumen se expandirían sus pulmones?
31. ¿Cuál es la masa de 1 litro de O_2 a 20°C y 5 atm de presión?

32. Un sistema recibe 200 cal de energía calorífica. Si 50 cal se convierten en energía interna. ¿Cuánto trabajo mecánico realiza el sistema? Expresa el resultado en joules.
33. Un sistema de gas absorbe 20 Btu. de calor en un proceso isovolumétrico al pasar la presión de 1.0 atm a 1.1 atm. ¿Cuánta energía interna es afectada por el proceso.
34. ¿Cuál es el cambio de energía interna de 200 g de plomo fundido al solidificarse en su punto de fusión?
35. Una máquina térmica absorbe 600 cal de calor y libera 350 cal mientras realiza trabajo en un ciclo.
 - a) ¿Cuántos joules de trabajo se realizan?
 - b) ¿Cuál es la eficiencia térmica de la máquina térmica?
36. La eficiencia de una máquina térmica es de 40%. Si la máquina absorbe 400 J de calor
 - a) ¿Cuánto calor es liberado por ciclo?
 - b) ¿Cuánto trabajo se realiza?
37. Una máquina de vapor recibe vapor calentado a 350° C y lo libera a 200° C. ¿Cuál es la eficiencia de dicha máquina?



Crucigrama sobre temperaturas.



Horizontales.

1. Vasija para conservar la temperatura de las sustancias que en ella se ponen, aislándolas de la temperatura
4. Magnitud física relacionada con la energía cinética media de las partículas que componen un cuerpo.
5. Nombre que recibe la sustancia en estado sólido que se emplea para determinar el punto fijo de 273.16 K en la escala de un termómetro.
6. Es el valor de la temperatura que se asoció, en la escala Celsius, a la mezcla de hielo y agua a la presión normal.
7. Es la energía que se transfiere de un cuerpo a otro, debido a sus diferencias de temperaturas, cuando se ponen en contacto térmico.
9. Es el líquido que se prefiere emplear en la manufactura de termómetros debido a la amplia gama de temperatura que pueden medirse con un termómetro que lo contenga.
10. Es el número que se le da a la ley de la termodinámica que establece que si dos cuerpos aislados en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, también estarán en equilibrio térmico entre sí.

Verticales.

1. Nombre del indicador construido por Galileo para medir la temperatura.
2. Dispositivo que se emplea para medir la temperatura.
3. Nombre del científico que construyó el primer indicador de temperatura.
8. Además del agua, ¿qué otra sustancia contenía en su interior el termoscopio?

LA CALORÍA Y EL JOULE

Coloca en los espacios en blanco los números que aparecen en la columna de la derecha, para hacer válidas las conversiones a joules. Justifica tus respuestas con las operaciones adecuadas.

- | | | | |
|--------------|---|---------|--------|
| 1. 10 cal | = | _____ J | 25.08 |
| 2. 6 cal | = | _____ J | 41.8 |
| 3. 400 cal | = | _____ J | 17 556 |
| 4. 1 000 cal | = | _____ J | 1 672 |
| 5. 4 200 cal | = | _____ J | 4 180 |



EXPERIMENTOS CASEROS



1. ¿Son buenos conductores del calor los metales?

Para esta actividad necesitas tres varillas de igual longitud (15 cm) de metales diferentes, una vela y cerillos. Toma una varilla por el extremo y calienta el otro extremo con la vela. Después de unos instantes ¿qué sientes en la mano que sostiene la varilla? ¿a qué se debe? Repite esto con las otras varillas.

2. ¿Se calienta el agua en un cono de papel?

Para esta actividad necesitas dos conos de papel (para beber agua) un vaso con agua, una vela y cerillos. Haz esta experiencia fuera de tu casa, colócale agua al cono y acerca la flama al cono precisamente donde esta el agua y observa. ¿Se quema el papel? Después de haber calentado el agua, sumerge el dedo en el agua ¿se elevó la temperatura? ¿Porqué no se quemó el papel? Repite esta experiencia, pero con un cono sin agua. ¿Qué sucede? Cuando hagas esta experiencia no debes estar cerca de material combustible. ¡Hazla en el patio!

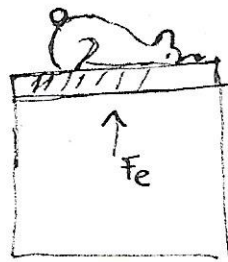


- Sinteca

ALWIL

Un objeto pesa 8 N en el aire. Sin embargo, su peso aparente cuando está totalmente sumergido en agua es de tan sólo de 4 N, ¿ qué densidad tiene el objeto ($\rho = 2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

Un cubo sólido uniforme de 10 cm por lado tiene una masa de 720 g. ¿ flotará en el agua salada? Si flota que Volumen



peso de el oso
 $F_e =$

GRUPO A

Alvaro
Ramirez
Valeria Elizabeth
090592710PO
Folio

Mecánica y calor

Mecánica y calor es un libro de texto para el nivel medio superior que refleja las tendencias mundiales en la enseñanza de la física, al promover en el alumno la comprensión de la física a partir de sus conocimientos previos e intuiciones y presentar aplicaciones concretas de la física en la vida cotidiana y en el campo laboral. Con este enfoque se busca mejorar el aprendizaje y despertar el aprecio de los alumnos por esta ciencia.

Otra característica de este libro es que mantiene un equilibrio entre el razonamiento físico conceptual y el nivel matemático en que se deben abordar los conceptos, principios y leyes de la física en este nivel educativo.

La teoría se expone en forma clara y concisa, sin descuidar los aspectos necesarios para conseguir la comprensión del alumno. Cada capítulo contiene lo siguiente:

Un resumen que sintetiza los conceptos más importantes de cada sección.

Ejercicios que se relacionan directamente con los contenidos tratados.

Problemas que permiten aplicar los conocimientos desarrollados en la sección donde aparecen.

Pasatiempos considerados como un segundo repaso, donde se aplican los conocimientos de manera divertida.

Actividades experimentales que el alumno puede realizar con materiales muy económicos y fáciles de conseguir.

Con todo esto, en el Conalep se ha buscado desarrollar un material didáctico que oriente y permita apoyar el conocimiento de la física de manera sencilla y clara.



ÁREA: FÍSICA BACHILLERATO

ISBN 968 18 5731-3



9 789681 857318